

Teijo Lindsten

TELEVISION JUOVATAAJUUTEEN LUKKIUTUVA
KALIBROINTILAITE

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2001

Osasto	Tekniikka	Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Tekijä(t) Teijo Lindsten			
Työn nimi Television juovataajuuteen lukkiutuva kalibrointilaite			
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tietoverkot		Ohjaaja(t) Jukka Heino	
Aika 5.4.2001		Sivumäärä 37 + liitetiedostot 36	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tehtävänä oli suunnitella Kajaanin ammattikorkeakoululle televisiovastaanottimen juovataajuuteen lukkiutuva kalibrointilaite. Laitteen tuli lukkiutua juovataajuuteen ulkoisesti ilman galvaanista yhteyttä televisiovastaanottoon. Laitteesta tuli saada ulos taajuudet 10 MHz, 1 MHz ja juovataajuus 15625 Hz.</p> <p>Juovataajuuden sieppaus toteutettiin LCR-piirillä, joka otti kiinni juovataajuuden televisiovastaanottimen vaakapoikkeutuskelojen aiheuttaman magneettikentän avulla. Saatu signaali vahvistettiin ja saatettiin TTL-tasoiseksi.</p> <p>Laitteeseen rakennettiin 10 MHz:n kvartsikideoskillaattori. Rakennettiin vaihelukittu silmukka, PLL. Takaisinkytkennässä oskillaattorilta saatu signaali jaettiin ensin kymmenellä ja seuraavaksi 64:llä, jolloin saatiin juovataajuinen, 15625 Hz:n signaali. Tämä signaali ja televisiovastaanottimelta saatu tarkka juovataajuinen signaali johdettiin vaihevertailijaan, jonka ulostulojännitteellä säädettiin oskillaattorin taajuutta. Halutut taajuudet saatiin oskillaattorilta ja jakajilta.</p>			
Luottamuksellinen Kyllä Ei <input checked="" type="checkbox"/>			
Hakusanat Kalibrointilaite, oskillaattori, vaihevertailija, vaihelukittu silmukka, PLL			
Säilytyspaikka			

Faculty	Faculty of Engineering	Degree programme	Information Technology
Author(s) Teijo Lindsten			
Title A Reference Frequency Device			
Optional professional studies Networks		Instructor(s) / Supervisor(s) Jukka Heino	
Date 5.4.2001		Total number of pages 37 + appendices 36	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to build a frequency device which would lock its oscillator to the stable TV line frequency and give out 10 MHz, 1MHz and the TV line, 15625 Hz frequencies. In Finland the TV signals of Yleisradio (the Finnish Broadcasting Company) broadcasts are locked to the rubidium standard and they are accurate.</p> <p>An LCR-circuit was used to capture the TV line frequency outside the TV receiver. It used the magnetic field which the deflection coils made to control horizontal scanning. The captured signal was then amplified and turned to a TTL signal.</p> <p>Inside the device a 10 MHz crystal oscillator was built. The signal from the oscillator was first divided by 10, then by 64. So there was a signal of 15625 Hz. A phase locked loop, PLL, was built. The signal of 15625 Hz and the signal from the TV were then taken to the phase comparator. The voltage of the comparator signal was used to control the frequency of the 10 MHz oscillator. So there was the 10 MHz signal from the oscillator and the 1 MHz signal and the line frequency signal from the dividers.</p>			
Confidential Yes No X			
Keywords Reference frequency, oscillator, phase comparator, phase locked loop, PLL			
Deposited at			

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	Ajanmittauksen historiaa	2
1.1.1	Kalenterin kehitys	2
1.1.2	Kellon kehitys	3
1.1.3	Sekunnin määrittely	7
1.2	Kideoskillaattori	7
1.3	Vaihelukittu silmukka	9
1.4	LCR-piiri	11
2	TYÖN SUORITUS	13
2.1	Regulaattori	13
2.2	Vastaanotin	14
2.3	Vastaanottimesta saadun signaalin käsittely	17
2.4	10 MHz:n oskillaattori	20
2.5	Oskillaattorin säätö jännitteen avulla	22
2.6	Kotelointi	24
3	LAITTEEN SÄÄTÄMINEN JA TARKASTUSMITTAUKSET	26
4	YHTEENVETO	31
	LÄHDELUETTELO	34
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Insinööriyön tarkoituksena oli rakentaa mahdollisimman yksinkertainen ja edullinen kalibrointilaite. Laitteen tulisi ottaa tarvitsemansa vertailutaajuus televisiolähetysten juovataajuudesta televisiovastaanottimen ulkopuolelle asetettavan vastaanottimen avulla. Kyseinen juovataajuus, 15625 Hz, on Suomessa ainakin Yleisradion lähetyksissä lukittu rubidium-oskillaattoriin ja on siten riittävän tarkka käytettäväksi vertailutaajuutena. Laitteeseen tulisi oma 10 MHz:n kideoskillaattori, jonka taajuus jaettaisiin ensin 10:llä ja sen jälkeen 64:llä, jolloin saataisiin ulos juovataajuus 15625 Hz. Tämä juovataajuus lukittaisiin television juovataajuuteen, jolloin myös 10 MHz:n kideoskillaattori tahdistuisi tarkaksi. Ulos laitteesta saataisiin 10 MHz, 1 MHz ja juovataajuus 15625 Hz. Lisäksi laitteen tulisi näyttää, milloin siinä on virta kytkettynä ja milloin signaalit ovat lukkiutuneet.

Suomessa käytetään televisiolähetyksissä PAL-järjestelmää, jossa kuvia on 25 kpl sekunnissa [1, s. 300 – 319]. Kussakin kuvassa on juovia 625 kappaletta. Kuvat näytetään kahdessa eri kentässä, parittomat juovat ja parilliset juovat omissaan. Näin tavallaan näytetään sama kuva kaksi kertaa lomittain. Juovien määräksi sekunnissa saadaan tällöin $25 \times 625 = 15625$. Televisiovastaanottimessa juovat saadaan oikeille paikoilleen poikkeutuskelojen magneettikenttien avulla. Vaaka-poikkeutuskelojen magneettikenttää oli tarkoitus käyttää signaalin vastaanottamiseen.

1.1 Ajanmittauksen historiaa

Kalenteri ja kello edustavat samanlaista pyrkimystä ajan hahmottamiseksi ja tajua-
miseksi. Kalenteri auttoi hahmottamaan vuoden kulkua ja vuodenaikojen vaihtu-
mista, kello jakoi vuorokauden tarkempiin jaksoihin.

1.1.1 Kalenterin kehitys

Varhaisessa metsästys- ja keräilykulttuurissa tai maataloudessa ei kellolla ollut
merkitystä. Työpäivää tehtiin valoisaan aikaan, aamunkoitosta auringonlaskuun.
Työpäivän pituus vaihteli vuodenaikojen mukaan, joten vuodenaikojen vaihtelulla
oli suuri vaikutus toimeentulolle. Tästä syystä kalenterin käyttö tuli merkittäväksi.

Egyptiläiset jakoivat vuoden kierron kolmeen vuodenaikaan Niilin tulvan, kylvä-
misen ja sadonkorjuun mukaan [2]. Kukin vuodenaika kesti neljä kuukautta.
Kolmannella vuosituhannella eKr. vuosi jaettiin egyptiläisissä kalentereissa 365
päivään. Vuosi jakaantui kahteentoista 30-päiväiseen kuukauteen. Egyptiläisten
astronomisten mittausten mukaan tähtitieteellinen vuosi kesti 6 tuntia yli 365
päivää. He havaitsivat, että Niilin tulvan alkaessa Sirius-tähti nousee auringon
viereen, ja tahdistivat kalenterinsa tähän. Vuoden 295 eKr. tienoilla alettiin Eryp-
tissä lisätä kalenteriin neljän vuoden välein yksi päivä. Myös Kreikassa alettiin
samoihin aikoihin käyttää samantyyppistä kalenteria. Sumerialaisilla, noin 3000
eKr., ja babylonialaisilla, noin 2000 eKr., oli käytössään omat vastaavanlaiset
kalenterinsa. Keski-Amerikassa mayat, noin 2000 eKr. – 1500 jKr., ottivat Venus-
planeetan mukaan havaintoihinsa ja saivat 360:n ja 365:n päivän mittaisia vuosia
[3]. Heidän kalenteristaan tuli myöhemmin osa atsteekkien kalenterikiviä. Monet
muinaiset rakennelmat esim. Stonehenge ja pyramidit toimivat myös eräänlaisina
kalentereina, näyttäen linjoillaan taivaankappaleiden liikkeitä, kuten kuun- ja
auringonpimennykset.

Egyptiläisten ja kreikkalaisten vaikutteiden perusteella syntyi Roomassa 45 eKr.
ns. juliaaninen kalenteri, jossa kolmen 365-päiväisen vuoden jälkeen seurasi 366-
päiväinen vuosi, karkausvuosi. Ns. gregoriaaninen kalenteri korvasi juliaanisen

kalenterin vuodesta 1582 jKr. lähtien. Gregoriaaninen kalenteri oli juliaanisen kalenterin parannus, jossa karkauspäivät poistettiin pääsääntöisesti muista paitsi neljällä jaollisista satavuotisluvuista. Tällä tavalla saatiin mahdollisimman tarkoin aurinkoajan kanssa paikkansa pitävä ajanlasku.

Monet Keski-Euroopan maat omaksuivat uuden kalenterin käytön melko pian. Esimerkiksi Ruotsi-Suomessa gregoriaaninen kalenteri otettiin käyttöön vuonna 1754. Neuvosto-Venäjällä siirryttiin gregoriaanisen kalenterin käyttöön vuonna 1918 ja Kiinassa vuonna 1929. Saman kalenterijärjestelmän piirissä olevien maiden ja alueiden välillä tuli kommunikointi toimivammaksi, mutta samalla kasvoivat vaatimukset tarkemmasta päivittäisestä ajanmäärittämisestä. Muun muassa nämä vaatimukset ajoivat kellon kehitystä eteenpäin.

1.1.2 Kellon kehitys

NIST:n (National Institute of Standards and Technology) määritelmän mukaan kellolla tulee olla säännöllinen, jatkuva tai toistuva, menetelmä merkitä ja pitää muistissa samansuuruisten aikajaksojen lisääntyminen. Sen tulee myös pystyä näyttämään tämä lisääntynyt aika.

Varhaisimmat kellot olivat aurinkokelloja. Egyptiläiset alkoivat jakaa päivänsä osiin. Obeliskit rakennettiin jo vuonna 3500 eKr. Niiden liikkuvat varjot muodostivat eräänlaisen aurinkokellon, mahdollistaen päivän jaon kahtia keskipäivän avulla. Ne näyttivät myös vuoden pisimmän päivän varjon ollessa lyhimmillään ja vuoden lyhimmän päivän varjon ollessa pisimmillään vuodessa. Myöhemmin merkkejä lisättiin obeliskin juureen ja päivä saatiin jaettua useampiin osiin. Merkhety, vanhin tunnettu tähtitieteellinen työväline, oli egyptiläisten kehittänyt noin vuonna 600 eKr. Laite asetettiin pohjois-etelälinjaan pohjantähden avulla. Yön tunnit oli pääteltävissä kun tietyt tähdet ohittivat linjauksen, meridiaanin.

Aurinkokellosta ruvettiin vaatimaan yhä tarkempaa tarkkuutta vuodenaikojen mukaan, joten aurinkokello kehittyi litteistä vaaka- tai pystylaatoista enemmän mutkikkaampiin muotoihin. Yksi versio oli kiveen kaiverrettu puolipallon muotoinen

asteikko, sen keskellä oli pystysuora osoitin ja reunoilla piirretty tuntisarjat eri vuodenajoille. Aurinkokelloista oli monenlaisia versioita käytössä mm. Kreikassa, Aasiassa ja Italiassa.

Aurinkokellot vaativat auringonvaloa näyttääkseen ajan, joten kehitys johti seuraavaksi vesikelloihin ja tiimalaseihin. Yksinkertaisimmillaan vesikello oli astia, josta vesi valui reiän kautta pois ja laskeva vesipinta astiassa osoitti kuluneen ajan. Tiimalasissa oli veden tilalla hienoa, tasarakeista hiekkaa. Astian muodolla voitiin säätää pinnan aleneminen tapahtuvaksi tasaisesti. Toisissa versioissa johdettiin tasainen vesivirtaus astiaan ja nouseva vesipinta näytti kuluneen ajan. Yksi vanhimmista vesikelloista on löydetty Amenhotep I:n hautaholvista, vuodelta noin 1500 eKr. Kreikkalaiset alkoivat käyttää niitä noin 325 eKr. Yksi versio oli metallikulho, jonka pohjassa oli reikä. Vesiastian asennettuna se upposi tietyn ajan kuluessa. Tämä malli oli käytössä Pohjois-Afrikassa vielä 1900-luvulla.

Mutkikkaampia ja näyttävin mekanismein varustettuja vesikelloja kehittivät kreikkalaiset ja roomalaiset horologit ja tähtitieteilijät 100 eKr. ja 500 jKr. välisenä aikana sekä kiinalaiset 200 – 1300 luvuilla. Näissä vesikelloissa pyrittiin veden virtaus saamaan mahdollisimman tasaiseksi, jolloin kellon tarkkuus paranisi. Jotkut niistä soittavat kelloja, osa aukaisee ovia ja ikkunoita näyttääkseen pieniä hahmoja ihmisistä, ne liikuttivat osoittimia, erilaisia asteikkoja tai universumin astrologista mallia.

Veden virtausta oli kuitenkin vaikea saada säädettyä aivan tasaiseksi joten kehitys johti seuraavaksi kohti mekaanisia kelloja. Ensimmäinen tunnettu mekaaninen kello rakennettiin Kiinassa Song-dynastian aikana 1000-luvulla. Kellon voimallähteenä oli rattaan yli virtaava vesi. Laitteen sisällä oleva kumistin ilmoitti tunnit. Mekaanisen kellon ongelmien parissa alettiin Euroopassa ilmeisesti työskennellä 1100-luvulta lähtien. Mekaanisen kellon leviäminen tapahtui Euroopassa 1300-luvulla. Rataskellot yleistyivät etenkin Italian, Ranskan, Saksan, Alankomaiden ja Englannin suurissa kaupungeissa. Alkuvaiheessa mekaaniset kellot olivat hyvin suuria ja niitä sijoitettiin hyvin usein kirkon torneihin. Yksi ensimmäisistä mekaanisista kelloista rakennettiin Milanossa Pyhän Eustorgion kirkkoon vuonna 1309.

Vanhimmat nykyaikaan säilyneistä mekaanisista kellolaitteista ovat peräisin etelä-englantilaisesta Wellsin katedraalista, Lundista ja Padovasta.

1340-luvulla tuli tavalliseksi tunnin jakaminen 60 minuuttiin ja minuutin jakaminen 60 sekuntiin. Kellot eivät kuitenkaan vielä tuolloin olleet kovin tarkkoja ajan näyttäjiä. Kelloissa oli tavallisesti vain yksi viisari osoittamassa tuntien kulumista. Jos viisareita oli kaksi, minuuttiviisari näytti aikaa vain varttitunnin tarkkuudella. Aikaisempiin aurinko- ja vesikelloihin nähden tämä oli kuitenkin huomattavaa tarkentumista. Alkuvaiheissa mekaanisten kellojen ajanmittaamista säädettiin kellonpainoilla, jotka olivat vesikäyttöisiä. Näiden vesikäyttöisten hillikkeiden käyttö oli kuitenkin hankalaa, koska vesi jäättyi pakkasella ja haihtui kuumassa ilmassa. 1200-luvun ja 1300-luvun vaihteessa kelloissa yleistyivät täysin mekaaniset vaakasäätimet. Vuonna 1430 ilmestyivät ensimmäiset kierukkajouset kellonpainojen tilalle. Tämä mahdollisti kellojen pienenemisen. Etenkin matkustajille ja merimiehille kierukkajousen käyttö kellossa soveltui hyvin, koska tällaiset kellot eivät kovin helposti häiriintyneet vaunujen tai laivojen liikkeiden vuoksi. Vaakasäädin oli kelloissa hyvin yleinen 1650-luvulle saakka.

Kellojen pienentyessä alkoivat yleistyä pöytäkellot ja vuonna 1604 nürnbergiläinen Peter Henlein valmisti ensimmäiset taskukellot, joissa aluksi oli vain yksi viisari. Minuuttiosoitin tuli kelloihin vuonna 1680. Ensimmäiset mekaaniset kellot olivat helposti tunninkin väärässä ja yleisimmin niissä oli vain tuntiosoitin. 1600-luvulla otettiin käyttöön heiluri, joka teki kelloista kymmenen kertaa aikaisempaa tarkempia. Ensimmäisenä, joka totesi heilurin ominaisuudet, ollaan kauan pidetty Galileo Galileita. Kuitenkin vuonna 1967 löydettiin joukko Leonardo da Vincin käsi- kirjoituksia, joista selviää, että da Vinci piirusti jo vuonna 1495 heilurikoneiston, jolla voitiin säätää kellon käyntiä.

Vuonna 1583 Galilei keksi heilurin. Tähtitieteilijät ja lääkärit käyttivät tämän jälkeen pieniä heilureita mitatakseen tapahtumia ja potilaan pulssia. Vuonna 1641 Galilei suunnitteli itse laitteen, joka antoi heilurille pienen sysäyksen jokaisen heilahduksen ääriasennossa, mutta hän ei todennäköisesti koskaan rakentanut toimivaa mallia. Ensimmäisen toimivan heilurikellon rakensi vasta vuonna 1657 hollantilainen Christian Huygens. Kellon tarkkuus oli tuolloin luokkaa minuutti vuoro-

kaudessa. Hän paranteli kelloaan ja pääsi tarkkuuteen alle 10 sekuntia vuorokaudessa. Vuonna 1721 George Graham sai parannettua heilurikellon tarkkuuden yhteen sekuntiin vuorokaudessa. Nämä tarkkuudet pitivät, kun kello oli paikoillaan. Liikkuessaan, ranteessa tai laivassa, kellon tarkkuus heikentyi huomattavasti. Tästä oli haittaa varsinkin laivaliikenteelle, koska tarkka paikan määrittäminen vaati tuolloin tarkkaa kellonaikaa. Tähän tuli parannus vuonna 1761, jolloin John Harrison sai rakennettua kronometrin, tarkkuuskellon, jonka tarkkuus merelläkin oli luokkaa $1/5$ sekuntia vuorokaudessa. Se mahdollisti paikan määrittämisen puolen asteen tarkkuudella merimatkan jälkeen Englannista Länsi-Intiaan. Vuonna 1884 maapallo jaettiin 24:ään aikavyöhykkeeseen. Tällä toimenpiteellä saatettiin lukuisat paikalliset ajat samalle vertailuasteikolle. 1889 Siegmund Riefler rakensi kellon, jonka tarkkuus oli $1/100$ sekuntia vuorokaudessa. Tästä kellosta tuli monien tähtitieteellisten observatorioiden aikastandardi. Sen korvasi vuonna 1921 W. H. Shortt'in rakentama vapaaheilurinen kello. Siinä oli kaksi heiluria, isäntä ja orja. Orja ohjasi viisareita ja antoi isännälle liikkeen jatkamiseen tarvittavat sykäykset. Isäntä-heiluriin ei täten vaikuttaneet mitkään mekaaniset voimat häiritsevästi.

Vuonna 1927 W. A. Morrison esitteli kvartsikidekellon. Sen toiminta perustui kvartsikiteeseen, joka alkaa värähdellä ominaistajuudellaan, kun kiteeseen johdetaan sähkövirta. Taajuudet jaettiin jakajilla kellokäyttöön sopivan pieniksi. Tarkkuudessa päästiin $1/1000$ sekuntiin vuorokaudessa. Ongelmana oli kiteiden yksilöllisyys, niiden taajuudet saattoivat poiketa toisistaan, joten kahta täsmälleen samanlaista kelloa ei ollut.

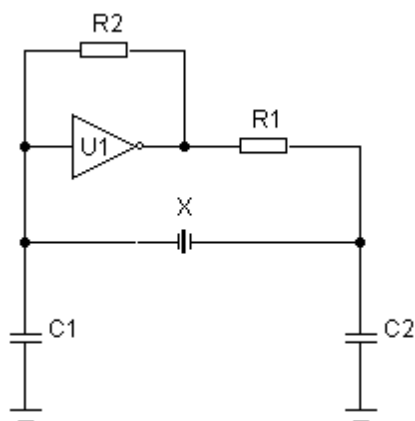
Kehitys johti atomikellon keksimiseen. Vuonna 1949 NIST rakensi ensimmäisen atomikellon. Se perustui ammonium molekyylin ominaissaateilyyn. Sen tarkkuus ei kuitenkaan ollut paljoakaan parempi kuin silloiset standardit, joten tutkijat päättivät keskittyä cesium 133 atomiin. Sen käyttöön perustuivat BNPL:n (Britain's National Physical Laboratory) vuonna 1955 ja NIST:n vuonna 1955 rakentamat atomikellot. Vuonna 1960 cesium-standardit otettiin virallisesti ajankäyttöön. Nykyään parhaimmat niistä ovat tarkkuusluokkaa yksi miljoonasosa sekuntia vuodessa.

1.1.3 Sekunnin määrittely

Sekunti määriteltiin aluksi $1/86400$ osaksi vuorokaudesta. Maapallon pyörimisnopeus ei kuitenkaan ole jatkuvasti sama, vaan se vaihtelee hieman. Täten määritelmä ei ollut yksiselitteinen ja sitä oli muutettava. Vuonna 1956 sekunti määriteltiin $1/31556925,9747$ osaksi efemeridivuodesta 31.12.1899 klo 12. Tässä määritelmässä oli ongelmana, ettei vertailukohde ollut enää mitattavissa, joten vertailua oli mahdoton suorittaa. Vuonna 1964 sekunnin määriteltiin olevan $9\,192\,631\,770$ kertaa sellaisen jakson aika, joka vastaa cesium 133-atomin siirtymää perustilan yli hienorakenteen kahden energiatason välillä. Vastaava cesium 133-atomin spektriviivan taajuus on siis $9,192\,631\,770$ GHz. Aika realisoidaan Cs-atomikellolla, jonka taajuuden suhteellinen epävarmuus on $3 \cdot 10^{-13}$ vastaten 1 sekuntia 100000 vuodessa. Kellonajasta on vuosittain vähennettävä ns. karkaussekunti, jotta kello pysyy tahdissa maapallon vuosikierron kanssa. Ajan vertailussa oli nyt siirryttävä käyttämään taajuuksien vertailua, jossa vaihelukittu silmukka ja oskillaattori muodostuvat päätekijöiksi.

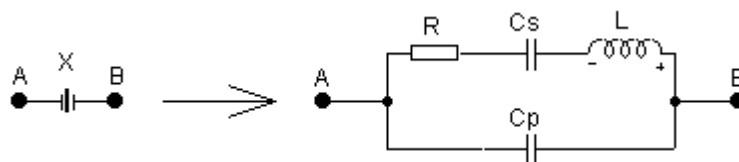
1.2 Kideoskillaattori

Kuvassa 1 on esitetty eräs versio kideoskillaattorin toteuttamisesta rinnakkaisresonanssissa.



Kuva 1. Rinnakkaisresonanssissa toimiva kideoskillaattori

Vastuksen R2 tehtävä on asettaa invertteri U1 toimimaan epästabiililla alueellaan, jossa pienikin jännitteen muutos saa sen vaihtamaan tilaansa. Tällä varmistetaan systeemin värähteleminen kiteen ominaistajuudella. Toimiakseen oskillaattorin on täytettävä Barkhausenin kriteerit [4. s. 975]. Eli takaisinkytkennän häviöt on saatava vahvistimessa takaisin ja vaiheen on käännettävä 360° tai sen kerrannaisina. Kuvan 1 kytkennässä vahvistus toteutuu invertterissä U1. Vaihe kääntyy invertterissä U1 180° ja lisäksi tulee invertterin viiveen vaikutus, joka kasvaa taajuuden kasvaessa. Takaisinkytkennässä on näin ollen saatava lisää loput tarvittavat asteet, jotta saataisiin täydet 360° vaihesiirtoa. Takaisinkytkennän ensimmäinen osa muodostuu vastuksesta R1 ja kondensaattorista C2. Yhdessä nämä muodostavat alipäästösuodattimen, joka aiheuttaa maksimissaan 90° :n vaihesiirron takaisinkytkentään. Jäljelle jää vielä kiteen ja kondensaattorin C1 osuus vaihesiirrosta. Kide on kvartsikide, joka on leikattu tarkalleen määrättyihin muotoihin. Sen ominaisuuksiin kuuluu, että se rupeaa värähtelemään ominaistajuudellaan saadessaan sen taajuista jännitettä. Kidettä voidaan kuvata kuvan 2 mukaisella sijaiskytkennällä [4. s.992].



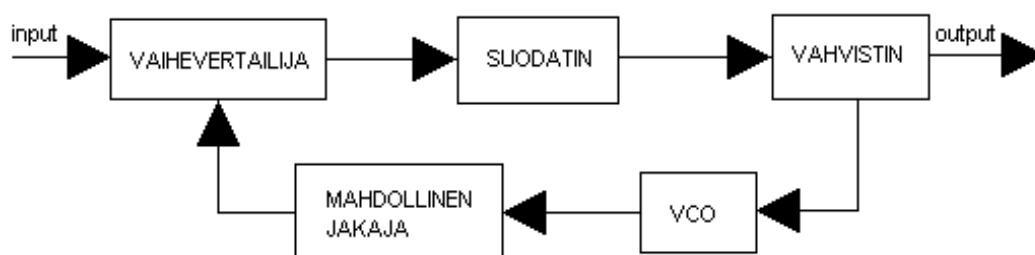
Kuva 2. Kiteen korvaus sijaiskytkennällä

Kuvassa 2 kondensaattori Cs ja induktanssi L muodostavat LC-piirin, joka resonoi sivulla 15 olevan kaavan (2) mukaisella taajuudella. Rinnalla oleva kondensaattori muodostuu kvartsikiteen kiinnityksestä johtimiin. Kiteen vastus R muodostaa kuvassa 1 olevan kondensaattorin C1 kanssa alipäästösuodattimen, joka kääntää loput takaisinkytketyn signaalin vaiheesta. Kuvan 1 mukaista kideoskillaattorin taajuutta voidaan säätää tietyissä rajoissa korvaamalla jompikumpi kondensaattoreista säätökondensaattorilla. Kondensaattorin arvoa muuttamalla muutetaan vaiheensiirtoa ja tämä pakottaa kiteen muuttamaan taajuuttaan. Fairchild Semiconductor neuvoo julkaisussaan [5, s. 2] korvaamaan kuvassa 1

olevan vastuksen R_1 sopivalla kondensaattorilla käytettäessä yli 4 MHz:n taajuuksia. Vastus R on yleensä luokkaa $100\ \Omega$, induktanssi L noin $500\ \mu\text{H}$, kapasitanssi C_s noin $0,01\ \text{pF}$ ja kapasitanssi C_p noin $5\ \text{pF}$.

1.3 Vaihelukittu silmukka

Vaihelukitun silmukan, PLL:n (Phase Locked Loop), on tietoliikennetekniikan tärkeimpiä komponentteja. Sitä käytetään mm. modulaattoreissa, demodulaattoreissa, taajuussyntetisaattoreissa, multipleksereissä, kertojissa, jakajissa, FM ja AM-detektoreissa, televisiotekniikan piireissä ja useissa eri tyyppisissä signaali-prosessoreissa. Vaihelukitun silmukan lohkokaavio on esitetty kuvassa 3.

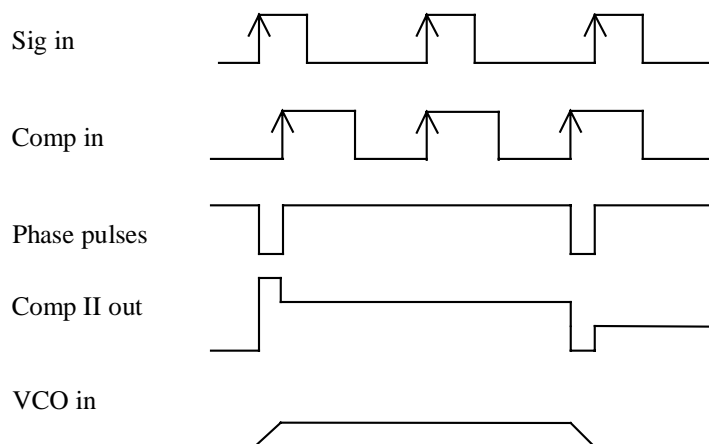


Kuva 3. Vaihelukitun silmukan lohkokaavio

Vaihelukittu silmukka on takaisinkytkentäsilmukka, joka koostuu vaihevertailijasta, alipäästösuodattimesta, vahvistimesta ja jänniteohjatusta oskillaattorista, VCO (Voltage Controlled Oscillator). Takaisinkytkentä voi sisältää myös mahdollisen jakajan. Vaihelukitun silmukan tekeminen perustuu signaalin ja vertailusignaalin vaihe- ja taajuusvertailuun. Vaihevertailija vertailee sisääntulosignaalia ja VCO:lta mahdollisen jakajan kautta tulevaa signaalia. Se muodostaa ulostulojännitteen, joka on verrannollinen signaalien vaihe-eroon. Alipäästösuodattimella poistetaan jännitteestä suuritaajuiset komponentit sekä signaalien harmooniset monikerrat. Mitä pienempi suodattimen rajataajuus on, sitä pienempitaajuiset muutokset pääsevät vaikuttamaan VCO:n taajuuteen. Eli mitä pienemmäksi rajataajuus mitoitetaan, sitä hitaammin sisääntulosignaalin nopeat taajuuden muutokset vaikuttavat VCO:n taajuuteen. Tällöin VCO:n taajuus saadaan vakaammaksi verrattuna vaihtelevaan sisääntulosignaaliin eli VCO:lla on tällöin eräänlainen

muisti- tai vauhtipyöräominaisuus. Mikäli takaisinkytkennässä on jakaja, vaihevertailija vertaa tätä jaettua signaalia sisääntulosignaaliin ja ulostulosta saadaan tällöin taajuus, joka on sisääntulosignaalin taajuus kerrottuna jakajalla. Vastaavasti, mikäli jakajan tilalle laitetaan kertoja, saadaan ulos jaettu signaali.

CMOS-PLL piiri CD4046BC, jota oli suunniteltu käytettäväksi vaihelukitun silmukan teossa, sisältää datalehtensä mukaan kaksi vaihevertailijaa [6, s.1]. Näistä vaihevertailija II soveltui paremmin työssä käytettäväksi, sillä se vertailee signaaleja niiden nousevan pulssireunan mukaan eikä täten vaadi signaaleilta 50:n %:n pulssisuhdetta kuten vaihevertailija I. Datalehden ja datakirjan [7, s. 164 – 169 ja 598 – 601] tietojen perusteella vertailijan II voidaan ajatella olevan moniportainen digitaalinen reunaherkkä vaihe- ja taajuusilmaisim. Silmukkaa kontrolloidaan signaalin positiivisella muutoksella ($0 \rightarrow 1$) kuvan 4 mukaisesti.



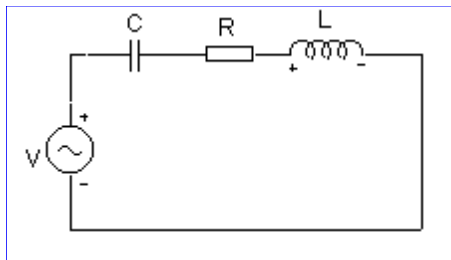
Kuva 4. Vaihevertailijan II aaltomuodot lukitussa tilassa

Muutos tulossa Sig_{IN} aiheuttaa positiivisen muutoksen Comp II:n lähdössä ja muutos tulossa $Comp_{IN}$ aiheuttaa negatiivisen muutoksen nastaan Comp II, joten piiri toimii kuten laskuri (ylös-alas). Vertailija antaa alipäästösuodattimen kautta jännitteen, joka on verrannollinen vaihe-eroon signaalien Sig_{IN} ja $Comp_{IN}$ välillä. Tämä jännite vaihtelee ja säättää VCO:ta, kunnes tuleva signaali ja vaihevertailijan sisääntulo ovat samassa vaiheessa ja niillä on sama taajuus. Tässä stabiilissa tilassa jännite Comp II out on vakio. Vertailijan Phase pulses –lähtöä voidaan

käyttää lukitustilanteen havainnointiin. Signaalien ollessa samassa vaiheessa se on ylätilassa (in lock –signaali), ja jos signaaleilla on vaihe-eroa, on se tämän vaihe-eron ajan alatilassa (out of lock –signaali).

1.4 LCR-piiri

Televisiovastaanottimen juovataajuus oli suunniteltu siepattavan LCR-piiriä hyväksikäyttämällä. LCR-piiri koostuu kondensaattorista C, kelasta L ja vastuksesta R. Kuvassa 5 on esitetty näiden sarjaan kytkentä.



Kuva 5. Sarjaan kytketty LCR-piiri

Piiri on tällöin värähtelypiiri [8, s. 178 – 181], joka värähtelytaajuudellaan f_0 tarvitsee vain piirin häviöihin menevän energian värähdelläkseen. Värähtelytaajuus saadaan kaavasta:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (1)$$

Vastuksen R ollessa pieni sieventyy kaava muotoon:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \quad (2)$$

Piirin laatukerroin Q kuvaa piirin resonanssikäyrän terävyyttä. Se kuvaa resonanssitaajuuden f_0 suhdetta kaistanleveyteen B kohdassa, missä teho puolet

huippuarvosta. Se lasketaan resonanssitaajuuden ja kaistanleveyden avulla kaavasta:

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad . \quad (3)$$

Laatukerroin saadaan myös kaavasta:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L}{R} \quad . \quad (4)$$

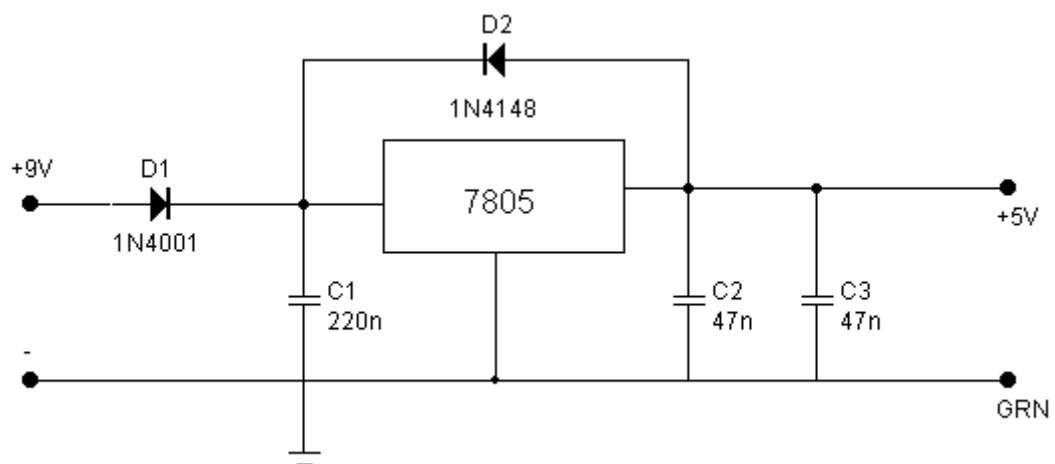
Mitä terävämpi resonanssikäyrä, sitä suurempi laatukerroin. Kaavasta (4) voidaan nähdä laatukertoimen olevan suoraan verrannollinen resonanssitaajuuteen ja induktanssiin sekä kääntäen verrannollinen resistanssiin.

2 TYÖN SUORITUS

Työnaikaiset mittaukset suoritettiin yleismittarilla M890D, PicoScope ADC-200/20 Virtual Instrument -laitteistolla ja ohjelmalla PicoScope for Windows, Release 5.06.3-32 bit. Muut käytetyt mittalaitteet on niitä käytettäessä erikseen mainittu. Televisiona oli työtä tehtäessä Finlux Design 1000 -väritelevisio.

2.1 Regulaattori

Laitteen käyttöjännitteeksi oli suunniteltu 5 V, joka soveltuisi kaikille käytettäville komponenteille. Jännitelähteeksi valittiin tavallinen 230 V:n verkkomuuntaja, josta saatiin ulos 3 – 12 V:n tasajännitteet. Ulostulojännitteet eivät ole kuitenkaan aivan tasaista tasajännitettä, vaan vaativat jännitteen tasaamisen varsinkin oskillaattorin yhteydessä. Näistä valittiin 9 V:n jännite, joka säädettiin ja tasattiin 5 V:iin piirin LM7805 avulla kuvan 6 mukaisella kytkennällä.



Kuva 6. Jännitteen taseus piirin LM7805 avulla

Kondensaattorien arvot valittiin piirin datalehden esimerkkikytkennöistä [9]. Diodi D1 estää mahdollisen väärinpäin kytkennän muuntajaan. Diodi D2 estää piiriä rikkoontumasta, mikäli sisääntulojännite yllättäen laskee ulostulojännitteen alapuolelle. Käyttöjännitteen merkkivaloksi liitettiin punainen LED-diodi sarjaan $380\ \Omega$:n vastuksen kanssa käyttöjännitteen ja maan välille.

2.2 Vastaanotin

Vastaanottimen rakentaminen aloitettiin kelasta. Sen sydämeiksi otettiin vanhasta radiovastaanottimesta 52 mm:n mittainen ja 10 mm halkaisijaltaan ollut ferriittitanko. Seuraavaksi otettiin 9,5 mm halkaisijaltaan oleva kromipintainen 200 mm pitkä terästanko. Terästanko kiinnitettiin vaakatasossa telineessä olevaan porakoneeseen, ja tangon päälle kierrettiin 0,35 mm:n siimasta yksi noin 80 mm:n levyinen kerros. Tämän päälle asetettiin yksi kerros normaalia kopiointipaperia, joka teipattiin saumakohtasta hylsyksi ja päistä kiinni tankoon. Paperiin merkattiin ferriittitangon pituutta vastaava alue. Tämän jälkeen pyöritettiin 0,25 mm:n vahvuista kuparilankaa paperin päälle merkatusalle alueelle yksi tiivis kerros. Kierretty alue rajattiin sellaiseksi, että ferriittitangon molemmista päistä jäisi 2 mm vapaaksi kuparilangasta, Kuparilankakierrokset liimattiin paperiin kiinni päistään ja kolmella pituussuuntaisella liimaviivalla toisiinsa. Siima vedettiin pois paperin ja terästangon välistä ja hylsyn päät katkaistiin merkkien mukaan. Oli saatu paperihylsyn päälle kela, joka sopi ferriittitangon päälle.

Kelan halkaisijaksi mitattiin 11 mm ja kierrosluvuksi laskettiin 200. Kelan induktanssi mitattiin TTI TC200A LCR-mittarilla, ja arvoksi saatiin ilmasydämellä 91,3 μH ja ferriittisydämellä 1,448 μH . Kelan vastusarvoksi mitattiin 3,2 Ω . Televisiolähetysten juovataajuuteen 15625 Hz tarvittavan kondensaattorin arvoksi ratkaistiin ferriittisydämellä kaavasta (1) 72 nF ja kaavasta (2) 72 nF. Tästä voidaan päätellä kyseisen ferriittisydämisen kelan vastusarvon olevan niin pieni induktanssiin nähden, ettei se vaikuta resonanssitaajuuteen ja voidaan käyttää kaavaa (2). Kelan laatukertoimeksi laskettiin kaavalla (4) 44 ja kaistanleveydeksi

kaavalla (3) 352 Hz. Kelasta laskettiin samalla tavalla arvot ilmasydämisenä. Tehtiin toinen kela, kerroksia 500 ja kuparilangan halkaisija 0,1 mm. Tämän arvot mitattiin ja laskettiin kuten ensimmäisen kelan. Kaikki saadut tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kelojen mitatut arvot ja lasketut arvot kaavalla (2) / kaavalla (1)

	Kela 200 kierrosta/ 0,25 mm		Kela 500 kierrosta/ 0,10 mm	
	Ferriittisydän	Ilmasydän	Ferriittisydän	Ilmasydän
Induktanssi mH	1,448	0,091	11,31	0,228
Vastus ohmia	3,2	3,2	66	66
Tarvittava C/nF	72/72	1136/1108	9,2/9,1	455/47
Laatukerroin Q	44/44	2,8/3,2	17/17	0,3/3,3
Kaistanleveys B/Hz	352/352	5578/4948	929/925	46070/4753

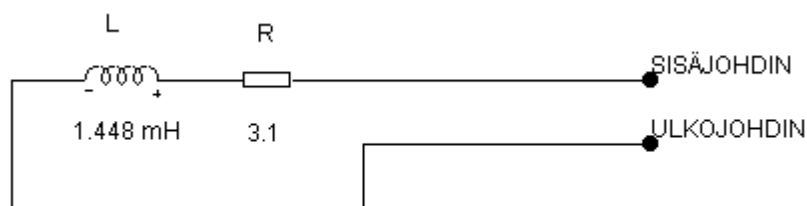
Tuloksista voitiin havaita, että vastusarvo ei kummallakaan kelalla vaikuta laskelmiin, kun käytetään ferriittisydäntä, mutta ilmasydämällä vastuksen kasvaessa sen vaikutus tulee jo esille. Lisäksi oli havaittavissa kuparijohtimen vastusarvon kasvaminen johtimen halkaisijan pienentyessä, kuten kuuluukin.

Keloista ilmasydämisillä oli heikot laatukertoimet ja täten suuret kaistanleveydet. Laatukertoimen parantaminen ja samalla kaistanleveyden pienentäminen vaatisi vastusarvon pienentämistä kaavan (4) mukaan, ja tämä ei ollut näillä keloilla mahdollista, sillä vastusarvot olivat kelojen sisäisiä, kuparilangan ominaisvastuksesta johtuvia vastusarvoja. Tällä perusteella ilmasydämisten kelojen käyttö hylättiin.

Ferriittisydämiset kelat vaikuttivat molemmat lupaavilta. Ferriittisydämen ominaisuuksiin kuuluu, että lämpötilan noustessa sen permeabiliteetti kasvaa, jolloin kelan induktanssi kasvaa ja resonanssitaajuus pienenee [10, luvut 8 ja 9]. Ferriittisydäminen kela 200 kierrosta kuparilangan halkaisija valittiin näistä, koska paksumpaa lankaa oli parempi käsitellä kuin toisen kelan ohutta. Sen kaistanleveyttä muutettiin asettamalla kelan kanssa sarjaan kaksi rinnan kytkettyä 6,2 Ω :n vastusta, jolloin kokonaisvastukseksi saatiin 6,3 Ω . Tällöin laatukertoimeksi

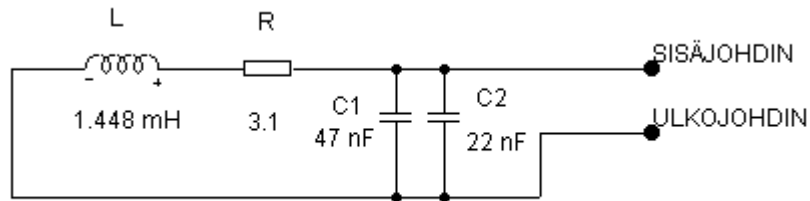
juovataajuudella 15625 Hz saatiin 22,5 ja kaistanleveydeksi 692 Hz. Tarvittava kondensaattori oli edelleen 72 nF.

Kela asetettiin sopivankokoiseen muovirasiaan ja liimattiin paikoilleen. Yhdyskaapeliksi valittiin 4 m:n 75 Ω :n koaksiaalikaapeli eli normaali television antennikaapeli, koska se on häiriösuojattu ja käsiteltävän signaalin taajuus olisi sama kuin television videosignaalin. Kaapelin pituudella päästiin riittävän etäälle televisiovastaanottimesta mittaustulosten häiriöttömyyden kannalta. Kaapeli yhdistettiin sarjankytkettyjen kelan ja vastuksen päihin kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Kelan ja vastuksen yhdistäminen yhdyskaapeliin

Signaali mitattiin yhdysjohdon toisesta päästä. Saadun signaalin kuvaaja on esitetty liitteessä A/1. Kuvaajasta voitiin päätellä signaalin jaksonajan olevan juovataajuuden suuruusluokkaa eli 64 μ s. Lisäksi signaalissa voitiin havaita pulssijaksoa kohti yksi leveämpi, noin 10 μ s:n mittainen pulssi. Tämä pulssin pääteltiin ajoittuvan videosignaalin sammutusjakson ajaksi [1, s. 305]. Pienempiin, jaksoltaan lyhyempiin pulssien määrään vaikutti jo pienenkin kapasitanssin lisäys vähentämällä niiden määrä. Eli niiden määrästä antoi mittalaite väärän kuvan mittalaitteen oman kapasitanssinsa tähden. Kaikesta voitiin päätellä, että kelalla oli saatu haluttu vaakapoikkeutuskelojen aiheuttama magneettikenttä kiinni. Kelan ja vastuksen kanssa kytkettiin 47 nF:n ja 22 nF:n kondensaattorit sarjaan kuvan 8 mukaisesti.



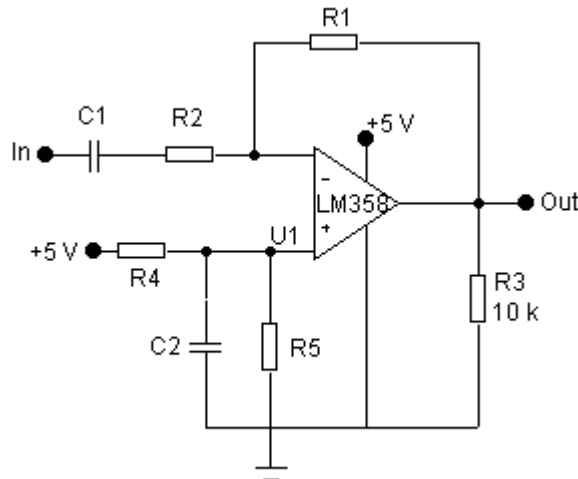
Kuva 8. Kondensaattorien kytkeminen

Kondensaattorin kokonaisarvo oli 69 nF. Nyt mitattaessa signaalia saatiin liitteen A/2 mukainen signaali. Signaali muistutti sinisignaalia, sen jaksonaika oli noin 64 μ s ja amplitudin noin 2 V huipusta huippuun. Kondensaattorien arvoa kasvatamalla siniaalto muuttui alapäästä teräväksi ruveten muistuttamaan puolialto-tasasuunnattua signaalia, joten kondensaattorin arvo oli kohdallaan. Voimakkain signaali saatiin, kun kela oli television päällä kuvaruudun keskikohdan vasemmalla puolella poikittain kuvaruutuun nähden. Mitattiin signaalin spektri, jolloin saatiin liitteen A/3 mukainen kuvaaja. Kuvaajasta voitiin lukea, että signaali sisälsi pää-taajuuden noin 15600 Hz:n eli juovataajuuden tienoilla ja tämän moninkertoja eli harmoonisia. Signaali oli täten melko puhdasta sinisignaalia, joskin lievää kantti-aaltoisuutta oli mukana [11, s. 104 ja 105]. Päätaajuuden lähellä ei ollut näkyvissä muita voimakkaita taajuuksia, joten signaali katsottiin kelvolliseksi jatkokäsittelyä varten. Kela, vastus ja kondensaattorit eli kuvan 8 mukainen kytkentä rakennettiin samaan muovirasiaan, jottei itse laitteeseen tulisi ylimääräisiä häiriötekijöitä.

2.3 Vastaanottimesta saadun signaalin käsittely

Vastaanottimesta saatava juovataajuinen signaali oli sinimuotoista, ja sen amplitudi vaihteli maksimissaan noin +1 V:n ja -1 V:n välillä. Sitä oli vahvistettava ja se oli saatava muutettua kanttiaalloksi. Vahvistimeksi päätettiin käyttää operaatiovahvistinta LM358, jota datalehtensä [12] mukaan voidaan käyttää myös yksipuolisella käyttöjännitteellä. Näin välttyttäisiin virtuaalimaan rakentamiselta laitteeseen. Datalehden mukaan LM358:n maksimi yksipuolinen käyttöjännite on 32 V ja sisäänmenosignaalin maksimialue on -0,3 V:sta +32 V:iin. Tietoa kyseisen operaatiovahvistimen käytöstä yksipuolisella käyttöjännitteellä löytyy National

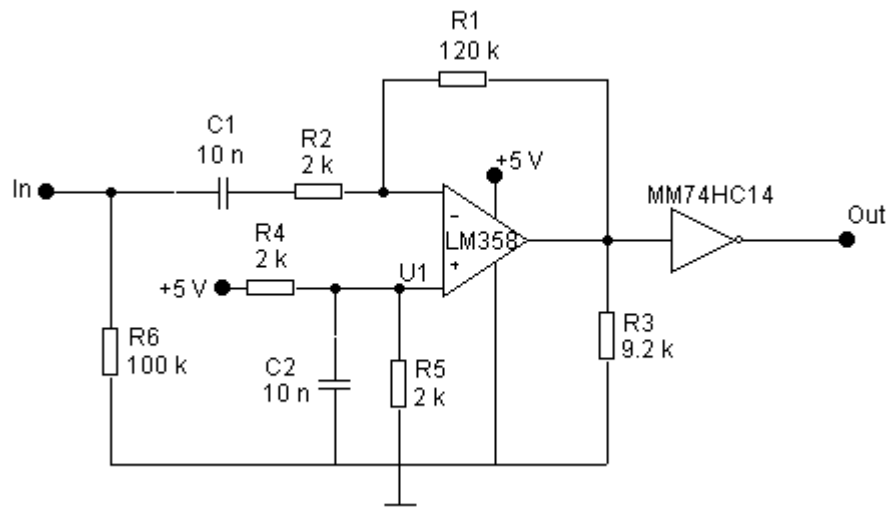
Semiconductorin julkaisusta [13]. Kuvassa 9 on esitetty julkaisussa oleva kytkentä LM358:n käytöstä yksipuolisella käyttöjännitteellä sisääntulon ollessa vaihtojännitettä sovellettuna 5 V:n käyttöjännitteeseen.



Kuva 9. LM358:n käyttö yksipuolisella jännitteellä vaihtojännitteisillä signaaleilla

Julkaisussa neuvottiin asettamaan jännite U_1 suuremmaksi kuin sisäänmeno-jännitteen keskiarvo, In . Tämän perusteella vastuksiksi R_4 ja R_5 valittiin $2\text{ k}\Omega$:n vastukset, jolloin jännite U_1 muodostuisi noin $2,5\text{ V}$:ksi. Kondensaattoreiden C_1 ja C_2 arvoksi valittiin 10 nF . Vastuksen R_2 arvoksi valittiin $2\text{ k}\Omega$ ja vastuksen R_1 paikalle laitettiin $1\text{ M}\Omega$:n potentiometri. Vastuksen R_3 arvoksi laitettiin $9,2\text{ k}\Omega$. Kytkentä tehtiin koekytkentäalustalle ja yhdistettiin vastaanottimeen, joka oli asennettu televisiovastaanottimen päälle. Mitattiin tuleva signaali ennen ja jälkeen 10 nF :n kondensaattoria. Saatiin liitteen A/4 mukaiset kuvaajat. Kuvaajista voitiin havaita, että tuleva vaihtojännitteinen signaali oli nostanut jännitetasoa ja oli kondensaattorin jälkeen kokonaan positiivisella jännitealueella. Seuraavaksi siirryttiin mittaamaan vahvistimelle LM 358:lle menevää signaalia ja sieltä ulos saatavaa signaalia. Liitteessä A/5 on esitetty mittauksen kuvaajat. Potentiometriä säätämällä pystyi säätämään ulostulevan signaalin pulssisuhdetta. Pulssisuhde säädettiin liitteen A/6 mukaiseksi eli mahdollisimman symmetriseksi ja mitattiin potentiometrin vastusarvo, joksi saatiin $116\text{ k}\Omega$. Vastuksen arvoksi valittiin $120\text{ k}\Omega$ ja se asetettiin potentiometrin tilalle. Mittaus uusittiin ja todettiin, että kuvaajat pysyivät samanlaisina kuin liitteessä A/6. Vahvistin toimi juuri julkaisun ja data-lehden mukaisesti.

Seuraavaksi tuli saada vahvistimelta tuleva loivareunainen kanttignaali jyrkkäreunaiseksi. Tämä oli suunniteltu hoidettavaksi invertterin MM74HC14 avulla. Datalehtensä [14] mukaan tämä piiri vaihtaa tilaansa nousevalla pulssilla noin 3,0 V:n ja laskevalla pulssilla noin 2,0 V:n kohdalla. Piiri kytkettiin koekytkentäalustalle, yhdistettiin vahvistimeen ja mitattiin vahvistimesta piiriin tuleva ja piiristä lähtevä signaali. Saatiin liitteen A/7 mukaiset kuvaajat. Kuvaajista voitiin todeta invertterin toimivan juuri kuten sen datalehdessä sanottiin. Tilanvaihtumiset tapahtuivat datalehden mukaisilla tasoilla. Pulssisuhde oli myös melkein symmetrinen. Nyt oli vastaanottimesta saatu signaali halutussa muodossa siirrettäväksi eteenpäin vaihevertailuun. Kytkentä oli muodostunut kuvan 10 mukaiseksi.



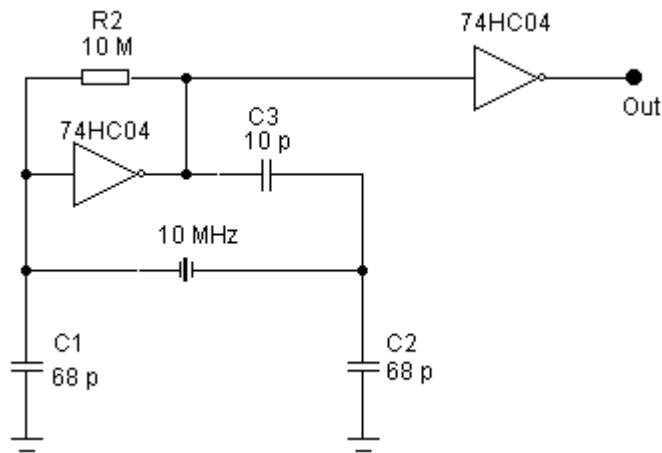
Kuva 10. Vastaanottimesta saadun signaalin käsittelyn kytkentä

Kyt kentään on lisätty 110 kΩ:n vastus R6 varmistamaan tulosignaalin tason pysyminen oikeana. Kytkentä siirrettiin koekytkentäalustalta veroboard-levylle ja juotettiin sille. Tämän jälkeen se vielä mitattiin ja havaittiin sen toimivan kuten koekytkentäalustalla. Signaalissa oli pientä värinää, mutta se saatiin loppumaan, kun invertterin MM74HC14 käyttämättömät tulot kytkettiin käyttöjännitteeseen. Mikäli näin ei tehdä, rupeavat käyttämättömät lähdöt värähtelemään käytetyn mukaan ja aiheuttavat häiriötä koko kytkentään. Signaalin olemassaolon ilmaisemiseksi kytkettiin LED-diodi sarjaan 380 Ω:n vastuksen kanssa. Vastus yhdistettiin käyttöjännitteeseen ja diodi kahden invertterin kautta vahvistimelta tulevaan

signaaliin. Tällöin LED syttyy palamaan kun vastaanottimelta tulee signaali. Mikäli signaali katoaa, niin LED sammuu.

2.4 10 MHz:n oskillaattori

Oskillaattorin kytkennäksi otettiin kuvassa 1 esitetty kytkentä. Kytkentä suoritettiin kuvan 11 mukaisilla komponenttiarvoilla.



Kuva 11. Käytetty oskillaattorikytkentä

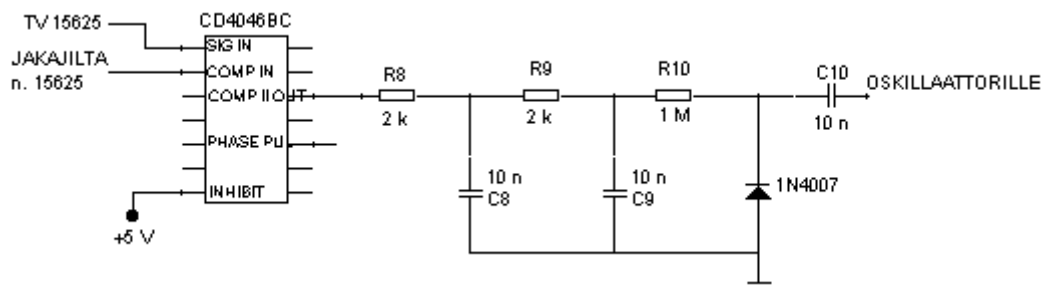
Kytkenässä olevan 10 MHz:n kiteen kapasitanssi on 30 pF, jolloin C1:n ja C2:n arvoiksi tulisi valita noin 60 pF [5]. Valittiin 68 pF:n kondensaattorit. Kuvassa 1 oleva vastus R1 korvattiin 10 pF:n kondensaattorilla C3. Invertteriksi valittiin 74HC04, jonka nopeus datalehden [15] mukaan mahdollistaa piirin toiminnan vielä 10 MHz:n taajuudella. Kytkentä tehtiin koekytkentäalustalle. Mittaukset suoritettiin toisen invertterin ulostulosta, jottei olisi häiritty oskillaattorikytkentää. Mittausten mukaan oskillaattori näytti käynnistyvän ongelmitta ja käyvän noin 10 MHz:n taajuudella. Mittauksista ei pystytty kuitenkaan päättämään oskillaattorin tarkkaa taajuutta, koska ei ollut vertailutaajuutta mihin verrata. Päättiin rakentaa taajuusjakajat, jolloin pystyttäisiin vertaamaan oskilloskoopista jakajien kautta saatua taajuutta vastaanottimesta saatua juovataajuuteen ja saamaan oskillaattorin taajuus tarkemmin.

Piirit kytkettiin koekytkentäalustalle ja yhdistettiin oskillaattoriin. Nyt mitattiin ensin oskillaattorista tulevaa signaalia eli 10-jakajalle menevää signaalia ja 10-jakajalta lähtevää signaalia. Havaittiin jaon tapahtuvan oikein. Seuraavaksi mitattiin 64-jakajalle tulevaa eli 10-jakajalta lähtevää signaalia ja 64-jakajalta lähtevää signaalia. Havaittiin jaon tapahtuvan oikein. Seuraavaksi mitattiin 64-jakajalta lähtevää signaalia ja vastaanottimelta saatua käsiteltyä signaalia. Havaittiin oskillaattorilta tulevan signaalin käyvän hieman nopeammin kuin vastaanottimelta tuleva juovataajuus. Signaalit olivat samassa vaiheessa noin sekunnin välein, eli 10 MHz:n oskillaattori värähteli noin 640 kertaa liikaa sekunnissa. Kuvassa 11 olevan kondensaattorin C1 tilalle vaihdettiin trimmerikondensaattori, 3 – 63 pF. Mittaus aloitettiin uudelleen. Trimmerikondensaattoria säätämällä saatiin oskillaattorin taajuus asetettua lähelle juovataajuutta. Mikäli kondensaattori säädettiin lähelle minimiarvoaan, saattoi oskillaattori käynnistyä kolminkertaisella taajuudella. Tämä ongelma poistui, kun trimmerikondensaattorin rinnalle asennettiin 12 pF:n kondensaattori. Oskillaattori käynnistyi hyvin, joskin sen ulostulojännite näytti vaihtelevan välillä 4,5 – 5,1 V. Tämä ongelma katosi, kun oskillaattorin invertteri-piirin jännitesyöttö yhdistettiin 47 nF:n kondensaattorilla maihin. Oskillaattori ja jakajat oli nyt saatu toimimaan oikein, ja ne juotettiin

verboard-levylle. Oskillaattori sijoitettiin hieman erilleen muista komponenteista. Kytkennän toimivuutta kokeiltaessa havaittiin oskillaattorin olevan hyvin herkkä ulkoisille häiriöille. Se häiriintyi, mikäli henkilö tuli noin metrin etäisyydelle tai käsi vietiin sen lähelle. Eli se reagoi herkästi ulkoisiin kapasitansseihin, kuten ihmiskehon kapasitanssiin. Tämän takia oskillaattori-kytkentä peitettiin peltikuorella, johon tehtiin reikä trimmerikondensaattorin säätöä varten. Ainakin käsikapasitanssin aiheuttamat häiriöt oli nyt saatu poistettua.

2.5 Oskillaattorin säätö jännitteen avulla

Oskillaattorilta jakajien kautta saatavan ja vastaanottimelta tulevan signaalin vaihe- ja taajuusvertailuun päätettiin käyttää piirin CD4046BC vaihevertailijaa II [6]. Tämä vertailija tutkii sisään tulevien pulssien nousevia reunoja, joten signaalin pulssisuhteella ei ole merkitystä kuten vertailijassa I, jossa pulssisuhteen on oltava 50 %. Piiri asetettiin kytkentäalustalle ja tehtiin kuvan 13 mukainen kytkentä.



Kuva 13. Vaihevertailijan ulostulosignaalin kytkentä

Vastaanottimelta tuleva signaali kytkettiin piirin signal in -nastaan. Oskillaattorilta jakajien kautta tuleva signaali kytkettiin comparator in- nastaan. Inhibit-nasta kytkettiin käyttöjännitteeseen eli asetettiin ylätilaan, millä poistettiin piirin oma jännitesäätöinen oskillaattori, VCO ja lähteen seuraaja käytöstä virran säästämiseksi [6, s. 1]. Comparator II out -nasta yhdistettiin kolmen alipäästösuodattimen ja kondensaattorin välityksellä oskillaattorin trimmerikondensaattorin rinnalle. Kolmas alipäästösuodatin muodostuu vastuksesta R10 ja vastasuuntaisesti asennetusta diodista 1N4007.

Vastasuuntaisesti asennettuna diodi muuttaa kapasitanssiaan jännitteen mukaan. Datalehden [18] mukaan diodin 1N4007 kapasitanssi vaihtelee välillä 30 – 16 pF jännitevälillä 0,1 – 5 V.

Kondensaattori C10 oli kytkennän kannalta sarjassa diodin kapasitanssin kanssa. Sen arvo tuli olla riittävän suuri diodin kapasitanssiin nähden, jotta diodin kapasitanssi välittyisi kokonaisuudessaan oskillaattorille. Sille valittiin arvoksi 10 nF, jolla ei juuri ole vaikutusta diodin kapasitanssiin. Kytkentä yhdistettiin veroboard-levyn kytkentään. Mitattaessa vahvistimelta tulevaa ja jakajilta tulevaa signaalia, havaittiin oskilloskoopin käyvän hieman liian suurella taajuudella. Trimmerikondensaattoria säätämällä löytyi kohta, missä signaalit asettuivat samaan vaiheeseen. Alipäästösuodattimissa kokeiltiin erilaisia arvoja ja niiden vaikutusta vaihepulsseihin, Phase Pulses, ja vertailijan jännitteeseen, Comp II Out. Kun vastuksien arvot olivat 1 M Ω ja kondensaattorit 10 nF, eli rajataajuutena 16 Hz, saatiin liitteen A/8 mukaiset kuvaajat. Kuvaajista voitiin havaita vaiheen olevan lukittu, mutta vertailijasta tulevan jännitteen vaihtelevan 1 V:n ja 3,5 V:n välillä. Mittausasteikkoa tarkennettiin, jolloin saatiin liitteen A/9 mukaiset kuvaajat. Vertailijan jännitteen vaihtelut näkyivät myös niissä selvästi, mutta lisäksi oli nähtävissä vaihepulsseissa piikit alaspäin ja vertailijan muuttavan jännitettään juuri näissä kohdissa. Piikkien väli oli noin 64 μ s, eli juovataajuuden jaksonaika. Eli vertailija toimii juuri datalehden ja teorian mukaan oikein. Vertailijan jänniteenvaihtelu oli kuitenkin niin suurta, ettei sitä olisi voinut käyttää lukitustilanteen näyttämiseen. Alipäästösuodattimien vastukset pienennettiin 2 k Ω :iin ja mittaukset uusittiin. Alipäästösuodattimien rajataajuus oli nyt noin 8 kHz. Saatiin liitteiden A/10 ja A/11 mukaiset kuvaajat. Vertailijan jännite oli tasaantunut ja vaihteli välillä 1,7 – 2,2 V. Sen muutokset olivat nopeita, alle yhden voltin piikkejä ylös- tai alaspäin keskimääräisestä kahden voltin tasosta. Phase Pulses – signaalit piikit olivat pienentyneet ja näkyivät vain harvakseltaan. Muutokset oli aikaansaatu kasvattamalla alipäästösuodattimien rajataajuutta vastuksien arvoa pienentämällä. Vertailusignaalin oli stabiili juovataajuinen signaali, joten sallimalla suurempitaajuisien muutoksien vaikutukset saatiin aikaan nopeat korjauspiikit oskillaattorin ohjausjännitteeseen. Eli nyt pienetkin vaihe-erot korjattiin nopeasti, mikä näkyi vaihepulsseissa piikkien pienentymisenä ja

harventumisena. Vertailijan ulostulojännitteen pitempiaikainen keskiarvo pysyi nyt lähes vakiona ja soveltui täten lukitustilanteen ilmaisemiseen. Mittauksissa havaittiin, että kuormitettaessa vertailijan ulostuloa yli 100 k Ω :n vastuksella, ei jännitteessä tapahtunut havaittavia muutoksia. Eli siitä voitiin ottaa maksimissaan 50 μ A:n virta jännitteenmittausta varten.

KytKentä juotettiin veroboard-levylle ja testattiin sen toimivuus. Signaaleja ei voitu yhdistää suoraan ulosottoihin, koska tällöin ulkoiset häiriöt saattaisivat häiritä ulosmenojen kautta kytkentöjen toimintaa. KytKentään lisättiin puskuripiiri 74HC244. Piiri asettaa ulosmenon samaan tilaan sisääntulon kanssa ohjainnastan ollessa kytketty alatilaa eli maahan [19]. Piiriin kytkettiin jakajalle 74HC390 menevä 10 MHz:n signaali, samalta jakajalta lähtevä 1 MHz:n signaali, jakajalta CD4024B lähtevä 15625 Hz:n signaali, invertteriltä MM74HC14 tuleva juovataajuinen vertailusignaali sekä Phase Pulses, eli vaihepulssi-signaali. Niitä vastaavat ulostulot otettiin piirin datalehden mukaisista nastoista. Vaihevertailijan ulostulojännite yhdistettiin suoraan omaan ulostuloonsa. Sitä ei voinut viedä puskurin kautta, sillä puskuri välittää vain muutokset ylä- ja alatilan välillä, ei arvoja näiden väliltä. KytKentä oli nyt kokonaisuudessaan muodostunut liitteen B mukaiseksi. Siitä puuttuivat vain kolme 47 nF:n jännitteensuotokondensaattoria.

2.6 Kotelointi

Veroboard-levyn koon, 100 x 160 mm², mukaan laitteelle tehtiin peltikotelo. Levyn alapuolelle jätettiin 10 mm:n vapaa tila, yläpuolen korkeuden määräsi korkein komponentti, joka oli piiri LM 7805, ja kotelon sisäkorkeudeksi tuli 31 mm. Kotelon leveydeksi tuli 165 mm ja pituudeksi 120 mm. Kotelo tehtiin siten, että pohja, etu- ja takareuna sekä sivut olivat samaa kappaletta. Sivuilta käännettiin sisäpuolelle korvakot levyn kiinnitystä varten. Takareunaan kiinnitettiin liittimet virransyöttöä ja vastaanotinta varten. Etuosaan laitettiin merkkivalot, signaalien ulostuloliitännät ja jakkiliitin vaihevertailijan jännitteen seuranta varten. 10 MHz:n, 1 MHz:n ja 15625 Hz:n signaaleille sekä vastaanottimen juovataajuiselle vertailusignaalille asennettiin BNC-liittimet. Lisäksi vaihevertailijan ulostulo yhdistettiin kolminapaiseen jakkiliitimeen. Samaan liitimeen yhdistettiin myös vaihepulssin

signaali. Kotelon kansi muotoiltiin sellaiseksi, että se peitti myös laitteen sivut kokonaan. Tällöin kansi saatiin kiinnitettyä ruuveilla sivuilta. Kotelo maalattiin mattamustaksi ja pohjaan liimattiin huopamaton palaset estämään laitetta naarmuttamasta alustaansa. Kannen etureunaan liimattiin kutakin ulostuloa selventävä symboli ja takareunaan liitinten vastaavat symbolit. Kuva koko laitteistosta on liitteenä C/1. Liitteessä C/2 on kuva laitteesta avattuna.

3 LAITTEEN SÄÄTÄMINEN JA TARKASTUSMITTAUKSET

Vastaanotin asennettiin televisiovastaanottimen päälle. Laite yhdistettiin vastaanottimeen ja siihen kytkettiin virta. Käyttöjännitteen merkkivalo syttyi tällöin kuten pitkin. Mittauksissa havaittiin vastaanotinpuolen toimivan kuten rakennusvaiheessakin. Liitteessä D/1 on esitetty vastaanottimelta laitteeseen tulevan signaalin ja käsitellyn, laitteesta saatavan signaalin kuvaajat. Kuvaajista voidaan havaita laitteen kääntävän signaalin vaihetta noin 90°. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä laitteen toimivuuden kannalta, sillä vertailutaajuuden ei tarvitse olla juuri samassa vaiheessa televisiovastaanottimen juovataajuuden kanssa. Laite toimi oikein kun vertailusignaalin taajuus oli sama kuin televisiovastaanottimen juovataajuus, 15625 Hz. Tämä ehto täyttyi vastaanotetun signaalin käsittelyssä.

Signaalin merkkivalon toimivuus tarkistettiin irrottamalla vastaanottimen liitin laitteesta. Merkkivalo sammui. Uudelleen kytkettäessä merkkivalo syttyi. Kun vastaanotin siirrettiin kauemmas televisiovastaanottimesta, sammui merkkivalo. Tuotaessa vastaanotin takaisin televisiovastaanottimen päälle, merkkivalo syttyi. Merkkivalo toimi, kuten oli suunniteltu. Se ilmaisi palaessaan, että vastaanottimessa oli signaali.

Laitteen ollessa päällä jännitemittari näytti 1,5 V:n jännitettä. Trimmerikondensaattoria säädettiin varovasti siten, että jännite laski 0,79 volttiin. Mittari asettui näyttämään 0,78 – 0,79 V:n jännitettä. Mitattaessa vertailusignaalia (15625 Hz TV) ja laitteen antamaa 15625 Hz:n signaalia saatiin liitteen D/2 mukaiset kuvaajat. Kuvaajista voitiin todeta signaalien etureunojen olevan, ja pysyvän, samoissa kohdissa, joten signaalit olivat samassa vaiheessa ja lukittuina.

Lukkiutumisenopeutta testattiin vaihtamalla televisiovastaanottimesta kanavaa. Vaihdettaessa kanavaa jännitemittari osoitti aluksi jännitettä 0,00 V, mutta siirtyi lukitustilanteen tapahduttua osoittamaan säädettyä 0,79 V:n jännitettä. Tähän kului maksimissaan 15 sekuntia kanavanvaihdosta. Liitteenä D/3 on signaalien kuvaajat välittömästi kanavanvaihdon jälkeen. Kuvaajat ovat erivaiheissa, mutta hiljalleen laitteen antaman signaalin kuvaaja siirtyi oikealle, kunnes signaalit olivat samassa vaiheessa ja lukkiutuivat. Mitattaessa vertailijan jännitettä ja vaihepulsseja saatiin kanavan vaihdon jälkeen liitteen D/4 mukaiset kuvaajat. Vaihepulsstin kuvaajan alatila kapenee kunnes se asettuu kokonaan ylätilaan liitteen D/5 mukaisesti. Tällöin lukitus on tapahtunut. Vertailijan jännite nousee tällöin noin 0,8:aan volttiin ja siinä näkyy pieniä korjauspiikkejä juovataajuuden jaksonajan, 64:n μ s:n, välein. Piikit olivat välillä ylöspäin, välillä alaspäin. Vaihepulsseissa näkyi harvakseltaan pieniä piikkejä alaspäin, kesto maksimissaan 0,5 μ s. Nämä osoittivat, että pieniä poikkeuksia signaalien vaiheissa tapahtui. Mittausaikaa pidentämällä saatiin liitteen D/6 mukaiset kuvaajat. Vertailijan jännitteessä oli havaittavissa 20 ms:n välein toistuva kuvio. Jakson aika viittaa verkkojännitteestä, 50 Hz, oskillaattorille aiheutuvaan häiriöön. Käytetty jännitemittari ei ehtinyt näyttää näin nopeita jännitemuutoksia, eikä siihen ollut tarvettakaan laitteen toimivuuden kannalta.

Seuraavaksi mitattiin laitteen 15625 Hz:n ja 1 MHz:n signaaleita. Saatiin liitteiden D/7 ja D/8 mukaiset kuvaajat. Molemmat liitteet ovat samasta mittauksesta. Niistä voitiin laskea jakamisen tapahtuneen oikein. Yhden 15625 Hz:n signaalin jaksonaika on 64 kpl 1 MHz:n signaalin jaksoa. Jakamalla syntyvä pulssi on lisäksi symmetrinen, sillä sen ylä- ja alajaksot sisältävät molemmat 32 jaksoa jaettavasta pulssista. Mitattaessa 1 MHz:n ja 10 MHz:n signaaleja saatiin liitteen D/9 mukaiset kuvaajat. Niistä voitiin päätellä, että jako tapahtui oikein, ja syntyvä pulssi oli symmetrinen. 10 MHz oli kuitenkin käytetyn mittalaitteen rajataajuus, joten 10 MHz:n signaalin oikeaa muotoa ei voinut päätellä kuvaajasta. 10 MHz:n signaali mitattiin spektrianalysaattorilla. Mittauksissa havaittiin sen spektrin sisältävän parittomien harmoonisten lisäksi myös parilliset harmooniset, joten signaali ei ollut puhdasta kanttiaaltoja. Tähän lienee osasyynä oskillaattorissa käytetty 74HC04-piiri, jonka hitaus tällä taajuusalueella saa signaalin muistuttamaan ylä- ja

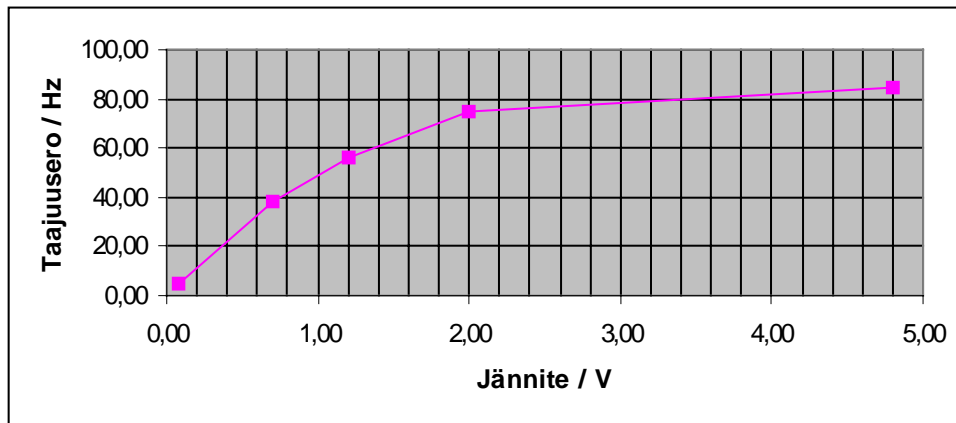
alapäästään leikattua kolmiosignaalia. Lisäksi havaittiin 1 MHz:n signaalin heijastuvan 10 MHz:n signaaliin. Tämä johtunee näiden signaalien liitosjohtimien läheisyydestä ulosmenoissa. 10 MHz:n signaalin hetkellisen taajuuden tarkempi määrittäminen olisi vaatinut tarkempia mittalaitteita. Pulssisignaalin esiintyvien pisimpien piikkien avulla arvioiden sen taajuuden keskiarvo vaihteli maksimissaan noin ± 5 Hz ajanjaksolla 64 μ s. Vertailijan jännitepiikit viittasivat myös oskillaattorin taajuuden huojumiseen. Aikavälin kasvaessa taajuuden keskiarvo paranee tästä.

Laitteen oskillaattorin taajuus ilman vertailutaajuutta, eli vapaana, saatiin säätämällä vertailijan jännite ensin tiettyyn arvoon lukitustilanteessa. Tämän jälkeen vertailusignaali kytkettiin irti laitteesta irrottamalla vastaanottimen liitin. Laitteen antamaa 15625 Hz:n signaalia verrattiin suoraan vastaanottimesta saatuun juovataajuuteen. Signaalit olivat samassa vaiheessa tietyin ajanvälein. Tämä aikaväli mitattiin eri jännitteillä. Mittauksissa saatiin taulukon 2 mukaiset tulokset.

Taulukko 2. Taajuuseron riippuvuus jännitteestä

Jännite/V	Aika/s	Taajuusero/Hz
0,08	127,00	5,04
0,70	16,80	38,10
1,20	11,40	56,14
2,00	8,60	74,42
4,80	7,60	84,21

Laitteen oskillaattorin taajuus oli taulukon taajuuseron verran suurempi kuin 10 MHz. Taajuusero saatiin jakamalla käytettyjen jakajien tulo, 640, mitatulla ajalla. Tuloksista piirrettiin kuvan 14 mukainen käyrä.



Kuva 14. Taajuuseron riippuvuus vaihevertailijan jännitteestä

Kuvaajan havaittiin noudattavan säätäjänä käytetyn diodin kapasitanssin kuvaajaa. Taajuuden suurin muutos tapahtui alueella 0 –2 V, ja välillä 2 –5 V tapahtui vain pieni muutos. Jos jännite säädettiin 0,7 volttiin kävi oskillaattori vapaana taajuudella noin 10,000040 MHz. Taajuus saataisiin tarkemmaksikin säätämällä jännite alemmaksi, mutta koska jännitteellä oli taipumus hieman muuttua ajan ja paikan mukaan, päätettiin jännite säätää 0,7 volttiin. Tämä oli sopivasti puolivälissä säätöaluetta. Mittaus selvitti oskillaattorin taajuuden säädön jännitteen avulla. Kun jännite poistettiin, kasvoi diodin kapasitanssi. Tällöin kasvoi myös diodin ja trimmerikondensaattorin yhteinen kapasitanssi, sillä ne olivat kytketyt rinnan. Tällöin tämän kapasitanssin ja kiteen sisäisen vastuksen muodostaman alipäästösuodattimen rajataajuus pieneni. Tämä aiheutti suuremman vaiheensiirron sen hetkiselä taajuudella. Suurempi vaiheensiirto sai aikaan taajuuden nousun. Jännitettä nostamalla, trimmerikondensaattorin arvoa kasvattamalla, aikaansaatii suurempi lisääntyvä kapasitanssi ja suurempi taajuuden kasvu. Jännite 0,7 V mahdollisti oskillaattorin taajuuden säätämisen alueelle 10 MHz \pm n. 40 Hz. Laite lukkiutuu tällöin juovataajuuteen 15625 \pm n. 40/640 Hz, eli 15625 \pm n. 1/16 Hz. Tämän takia laite ei lukkiutunut videonauhurin lähetykseen, sillä nauhurin antama juovataajuus vaihtelee ja poikkeaa 15625 Hz:stä enemmän kuin n. 1/16 Hz:ä. MTV-3 –kanavan lähetykset olivat alueen sisällä ja laite lukkiutui myös niille.

Mittauksissa saatujen tietojen mukaan laitteelle laadittiin liitteen E mukainen käyttö- ja säätöohje. Tässä vaiheessa laitteelle annettiin nimeksi JHTL 2001.

Laitteelle suunniteltiin PADS-ohjelmiston demoversiolla liitteen F mukainen alustava yksipuolinen piirilevy. Siinä oskillaattori oli sijoitettu omalle levyille. Tämä mahdollisti koko oskillaattorikytkennän sijoittamisen omaan, suojaavaan koteloon. Käytetystä demoversiosta johtuen kaaviot eivät suoraan sovellu piirilevyn tekemiseen, mutta antavat erään ratkaisumallin komponenttien sijoittamisesta ja johdotuksien tekemisestä. Johdotuksessa selvittiin neljällä hyppylangalla. Komponenttien tarvitsema tila oli myös helppo arvioida kuvista.

4 YHTEENVETO

Työ vastasi hyvin ennakko-odotuksia. Käytettyjen komponenttien ominaisuuksien teoria ja käytäntö kohtasivat hyvin konkreettisesti kytkentöjä tehtäessä ja kokeillessa. Mittauksissa esiin tulleet ”uudet” ominaisuudet pakottivat kertaamaan teoriaa ja etsimään syytä, miksi näin tapahtuu. Vastaanottimen rakentamisen yhteydessä oli yllättävää havaita, kuinka voimakas signaali sillä saatiin vanhemmasta televisiovastaanottimesta. Tämän perusteella ymmärrettiin, miksi uudemmissa televisiovastaanottimissa on paranneltu magneettikenttien suojausta vähentämään kenttien aiheuttamia haittoja muille laitteille.

Työ opetti samalla myös hakemaan tiettyjä komponenttien datalehtiä niukoilla, mutta täsmällisillä tarkenteilla. Mikäli hakuun erehtyi laittamaan yhdenkin ”yleisen” sanan, lisääntyi löydettyjen kohteiden määrä useilla tuhansilla. Saman komponentin eri valmistajien datalehdet saattoivat poiketa toisistaan tietomääriltään huomattavasti. Kun yksi ilmoitti komponentin ominaisuudet lyhyesti, luettelomaisesti, saattoi toisen valmistajan datalehdestä löytyä tarkat selostukset komponentin toiminnasta kuvien, kaavioiden ja esimerkkikytkentöjen kanssa.

Työ opetti lukemaan piirikaavioita uudella tavalla. Aikaisemmin ne nähtiin vain lukuisten yksittäisten komponenttien kytkentänä. Työn ansiosta ne rupesivat tavallaan ”aukeamaan”. Tiettyjen komponenttien muodostamat kokonaisuudet, esimerkiksi erilaiset suodattimet, oskillaattorit ja jännitteen tasaajat, rupesivat erottumaan omana ryhmänään piirikaaviosta. Niitä osasi nyt etsiä piirikaaviosta, koska niitä on siellä joka tapauksessa.

Työn suorituksessa korostui kuinka tärkeää oli mitata asennettavien komponenttien arvot, ja lukea yleismittarilta arvot oikein. Väärän kondensaattorin tai vastuksen kytkeminen saattoi aiheuttaa yllättäviä muutoksia mitattavaan signaaliin. Komponenttien nastajärjestys oli myös syytä pitää tarkasti mielessä, varsinkin käännettäessä veroboard-levy ympäri juotoksia varten. Viisainta oli ensin juottaa käyttöjännite ja maa. Näiden avulla oli helppo paikallistaa muut juotettavat nastat. Käyttämättömät tulot tuli muistaa juottaa, piiristä riippuen, joko maahan tai käyttöjännitteeseen. Kytkeämättöminä ne ja niiden lähdöt aiheuttivat värinöillään häiriöitä käytettyihin lähtöihin.

Käytetty mittauslaitteisto ohjelmiseen oli erittäin käyttökelpoinen. Sen avulla oli helppo tallentaa mittaustulokset kuvina suoraan tekstinkäsittelyohjelmaan. Kuvat varustettiin lyhyellä selostuksella, josta kävi ilmi, mitä oli mitattu ja minkälaisilla komponenttien arvoilla. Tallennettuina samaan kansioon ne löytyivät myöhemmin helposti, ja niistä voitiin tarvittavat kuvat siirtää sellaisinaan varsinaiseen tekstiin tai sen liitteiksi. Itse tekstin teko kasvatti kärsivällisyyttä ja muistutti säännöllisten tallennuksien ja varmuuskopioiden tarpeellisuudesta. Tekstin pidentyessä ja eri ohjelmista kopioiduiden kuvien määrän kasvaessa lisääntyivät myös Windowsin erittäin selkeät virheilmoitukset, "XXXX aiheutti peruuttamattoman virheen muisti-paikassa YYYYYYYYYY", tai "ZZZZ suorittanut laittoman toimenpiteen", ja näiden perään ilmoitus "kaikki tallentamattomat tiedot menetetään". Ja kone käynnistyi ilmoitusten jälkeen ainoastaan katkaisimesta boottaamalla.

Oskillaattorin ja vaihelukitun silmukan, PLL:n, rakenne ja toiminta selventyi työn ansiosta. Varsinkin jakajien merkitys ja niiden käyttö vaihelukitun silmukan takaisinkytkennässä selvisi konkreettisesti. Oskillaattorin ohjaaminen vertailijasta saatavan jännitteen ja estosuuntaan kytketyn diodin avulla auttoi ymmärtämään, miten oskillaattorin säätö yleensäkin on mahdollista. Samalla selventyivät myös syyt, miksi PLL on nykyajan tekniikassa välttämätön komponentti. Se mahdollistaa vastaanottajan lukkiutumisen tarkasti lähettäjän taajuuteen. Tämä on perusedellytys nykyajan nopeille tiedonsiirtomenetelmille. Jako- tai kertosuhde on vapaasti valittavissa, niiden ei tarvitse olla kokonaislukuja. Tällöin vertailusignaalista voidaan tuottaa juuri halutun taajuinen signaali. Tämä mahdollistaa mm. lähetyksien lukitsemisen vertailutaajuuteen, moduloinnin ja

vastaavasti demoduloinnin tarkasti samoilla taajuuksilla. Cesium 133 –atomin tarkka, yli 9 GHz:n ominaistajuus, voidaan PLL:n avulla muuttaa tarkaksi ajaksi sekunnin määritelmän mukaisesti. Näin ajan tarkka määrittely eri puolilla maapalloa voidaan tehdä yhden yhteisen vertailusignaalin avulla. Tämä puolestaan mahdollistaa esim. nykyaikaisen GPS-paikanmäärittelyn. Siinä vastaanotin laskee paikkansa vähintään kolmen satelliitin, tai maa-aseman, lähettämän tiedon perusteella. Lähetetty tieto pitää sisällään lähetyksen tarkan aloitusajan ja paikan. Vastaanotin pystyy näiden tietojen perusteella laskemaan sijaintinsa.

Rakennettu laite täytti sille asetetut vaatimukset. Siitä saatiin lukitustilanteessa halutut signaalit ulos. Sen merkkivalot ja jännitemittari toimivat kuten oli suunniteltu. Se ei kuitenkaan ole täysin valmis. Sen oskillaattorin lyhytaikaista taajuutta voisi säätää tasaisemmaksi. Ulostulosignaaleja voisi estää häiritsemästä toisiaan. Laitteen tarkempi analysointi tarkemmilla mittalaitteilla saattaisi paljastaa myös muita säätöä, tai muutoksia vaativia kohteita. Näihin saattaisi herkästi kulua puolikin vuotta tai enemmän. Laitteen tekijä oli kuitenkin tyytyväinen aikaansaatuun laitteeseen, sen tarkkuuteen, ja sen tekemisen yhteydessä opittuihin asioihin. Laitteen rakentaminen pysyisi mielessä pitkään.

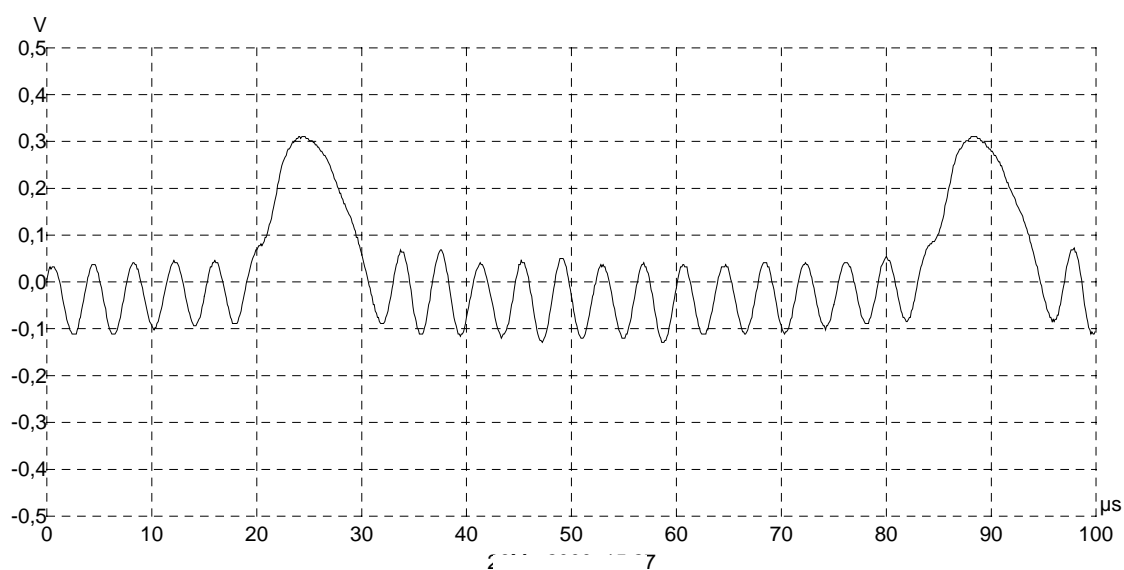
LÄHDELUETTELO

- 1 Halme, Seppo J. Televiestintäjärjestelmät. 4., korjattu ja tarkistettu painos. Helsinki: Otatieto Oy, 1996. 476 s. ISBN 951-672-238-5.
- 2 Myyryläinen, H. Internet artikkeli ajan mittaamisen ja kellon kehityksen historiasta. [WWW-dokumentti]. <<http://www.internetix.fi/opinnot/opintojaksot/9historia/euroopankulttuuri/mekaaninen.htm>>. (Luettu 15.3.20)
- 3 NIST. Walk trough Time. Toukokuu 1995, muutettu heinäkuu 2000. [WWW-dokumentti]. <<http://physics.nist.gov/GenInt/Time/time.html>>.
- 4 Sedra, A., Smith, K. Microelectronics Circuits. 4. painos. New York: Oxford University Press, Inc. 1998. ISBN 0-19-511690-9.
- 5 Fairchild Semiconductor. HCMOS Crystal Oscillators. Applications Note 340. Toukokuu 1983. [WWW-dokumentti]. <<http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-340.pdf>>.
- 6 Fairchild Semiconductor. CD4046BC Micropower Phase-Locked Loop. Lokakuu 1987, muutettu tammikuu 1999. [WWW-dokumentti]. <<http://www.fairchildsemi.com/ds/CD/CD4046BC.pdf>>.
- 7 RCA COS/MOS Integrated Circuits. USA RCA Corporation 1978.
- 8 Mäkelä, M., Mäkelä, R., Siltanen, O. Insinöörikoulutuksen fysiikka 2. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka, 1997. ISBN 951-9004-55-6.
- 9 National Semiconductor. LM140A/LM140/LM340A/LM340/LM7800C Series 3-Terminal Positive Regulators. Tammikuu 1995. [WWW-dokumentti]. <<http://aldebaran.elo.utfsm.cl/datasheet/national/pdf/nsc05361.pdf>>.
- 10 Perälä, R., Skinnari, P. Elektroniikka III Passiiviset komponentit. Kotka: TietoKotka OY 1995. Monistesarja.
- 11 Laitinen, E., Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. Kaavasto. 19. painos. Tampere: Tammertekniikka, 1997. ISBN 951-9004-42-4.
- 12 National Semiconductor. LM158, LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers. Marraskuu. 2000. [WWW-dokumentti]. <<http://www.national.com/ads-cgi/viewer.pl/ds/LM/LM158.pdf>>.

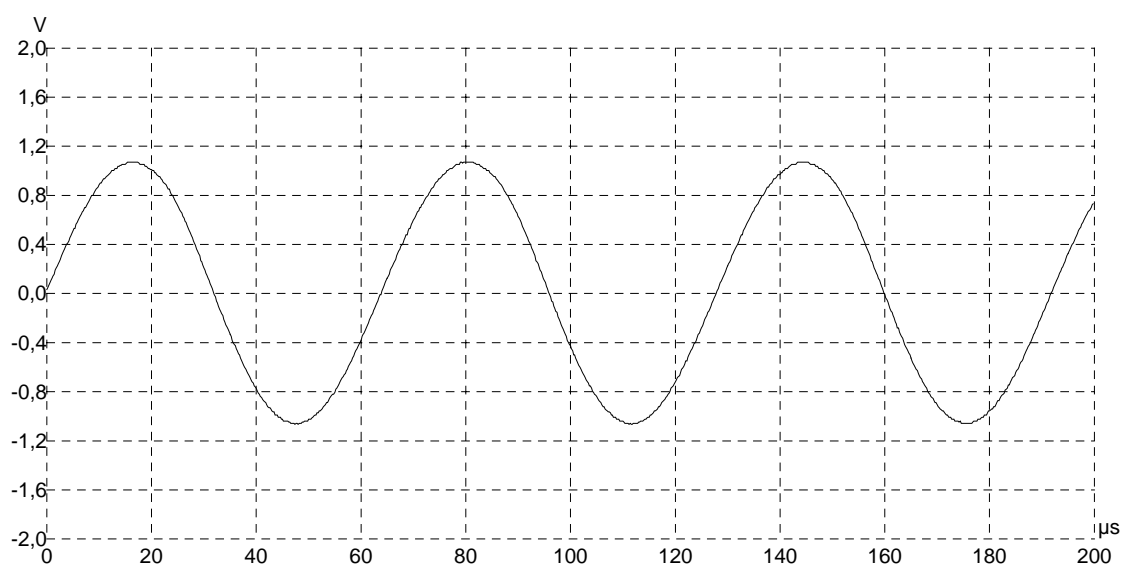
- 13 National Semiconductor. Use the LM158/LM258/LM358 Dual, Single Supply Op Amp. Application Note 116. Elokuu 1980. [WWW-dokumentti].
<<http://www.national.com/ads-cgi/viewer.pl/an/AN/AN-116.pdf>>.
- 14 Fairchild Semiconductor. MM74HC14 Hex Inverting Schmitt Trigger. Syyskuu 1983, muutettu helmikuu 1999. [WWW-dokumentti].
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/MM/MM74HC14.pdf>>.
- 15 Fairchild Semiconductor. 74HC04 Hex Inverter. Syyskuu 1983, muutettu tammikuu 1999. [WWW-dokumentti].
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/MM/MM74HC04.pdf>>.
- 16 Philips. 74HC/HCT390 Dual Decade ripple Counter. Joulukuu 1990. [WWW-dokumentti].
<<http://www.philipslogic.com/products/hc/pdf/74hc390.pdf>>
- 17 Fairchild Semiconductor. CD4024BC 7-Stage Ripple Carry Binary Counter. Lokakuu 1987, muutettu tammikuu 1999. [WWW-dokumentti]. <<http://www.fairchildsemi.com/ds/CD/CD4024BC.pdf>>
- 18 General Semiconductor. 1N4001 THRU 1N4007 General Purpose Plastic Restifier. 29.11.1999. [WWW-dokumentti].
<<http://www.gensemi.com/pdfs/1n4001.pdf>>
- 19 Fairchild Semiconductor. MM74HC244 Octal 3-STATE Buffer. Syyskuu 1983, muutettu elokuu 2000. [WWW-dokumentti].
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/MM/MM74HC244.pdf>>

LIITTEET

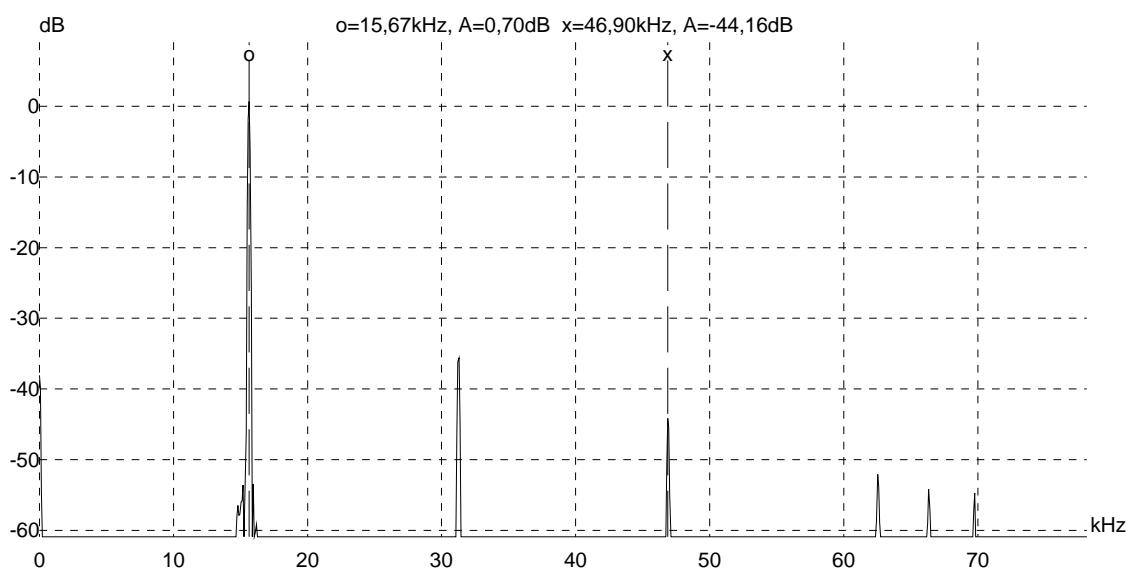
A/1 - 11	Mittauksia
B	Kytkentäkaavio
C/1 -2	Laitteen kuvia
D/1 - 9	Valmiin laitteen mittauksia
E/1 -6	Käyttö- ja säätöohjeet
F/1 - 6	Piirilevykaaviot



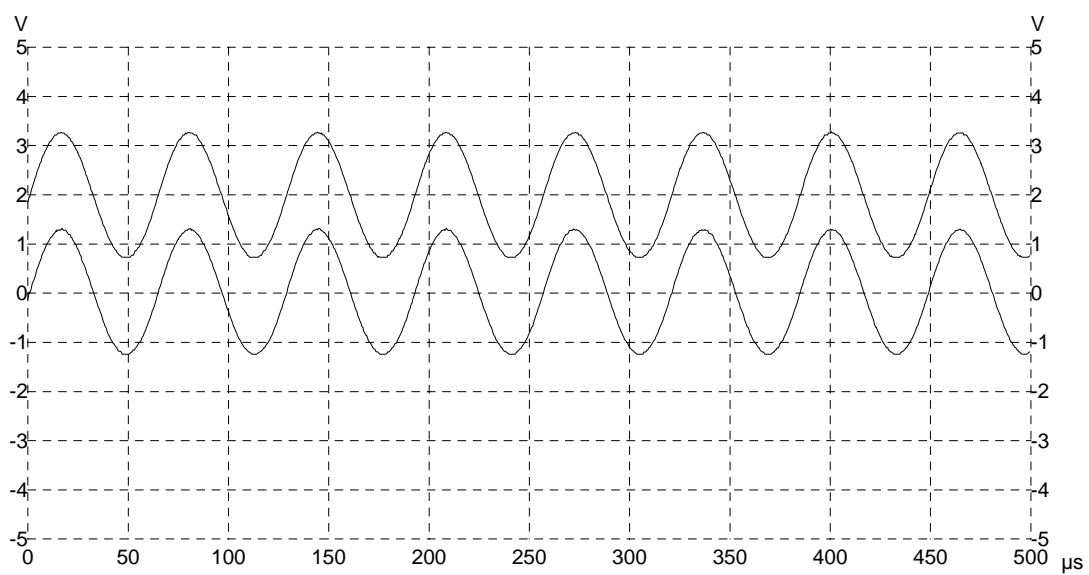
Kuva 1. Yhdysjohdon päästä mitattu signaali kelan ja vastuksen ollessa sarjaan kytkettynä televisiovastaanottimen päällä



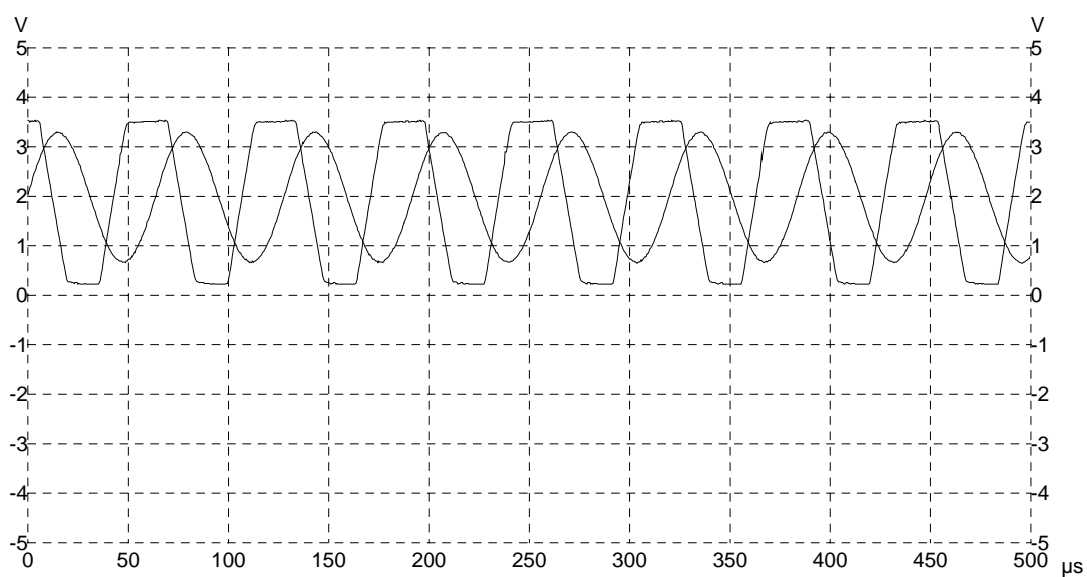
Kuva 2. Yhdysjohdon päästä mitattu signaali, kun kelan ja vastuksen rinnalle oli kytketty 69 nF:n kondensaattori



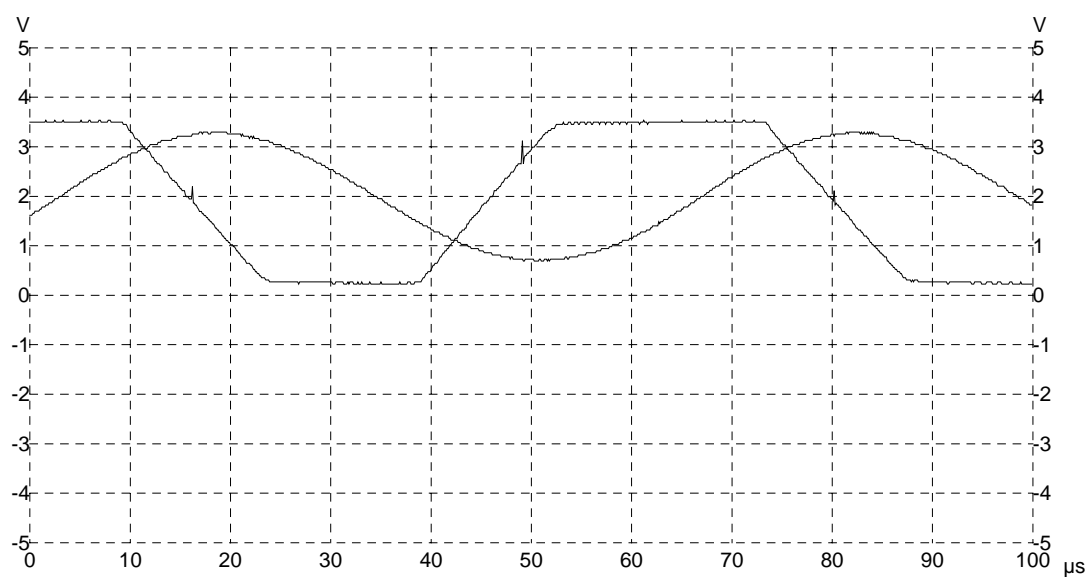
Kuva 3. Yhdysjohdon päästä mitattu signaalin spektri, kun kelan ja vastuksen rinnalle oli kytketty 69 nF:n kondensaattori



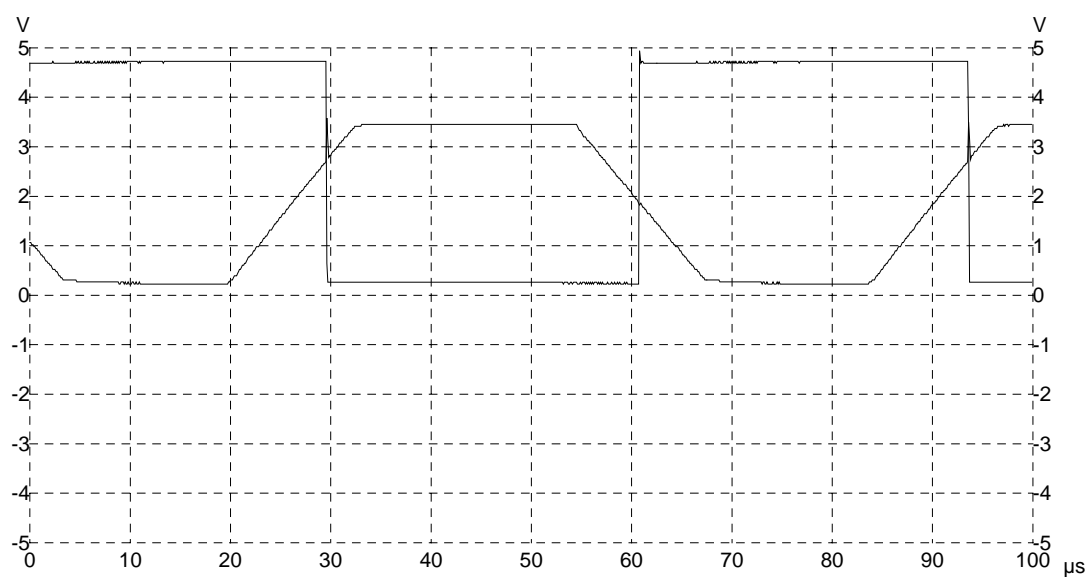
Kuva 4. Vastaanottimelta tuleva signaali ennen 10 nF:n kondensaattoria (alempi kuvaaja) ja kondensaattorin jälkeen (ylempi kuvaaja)



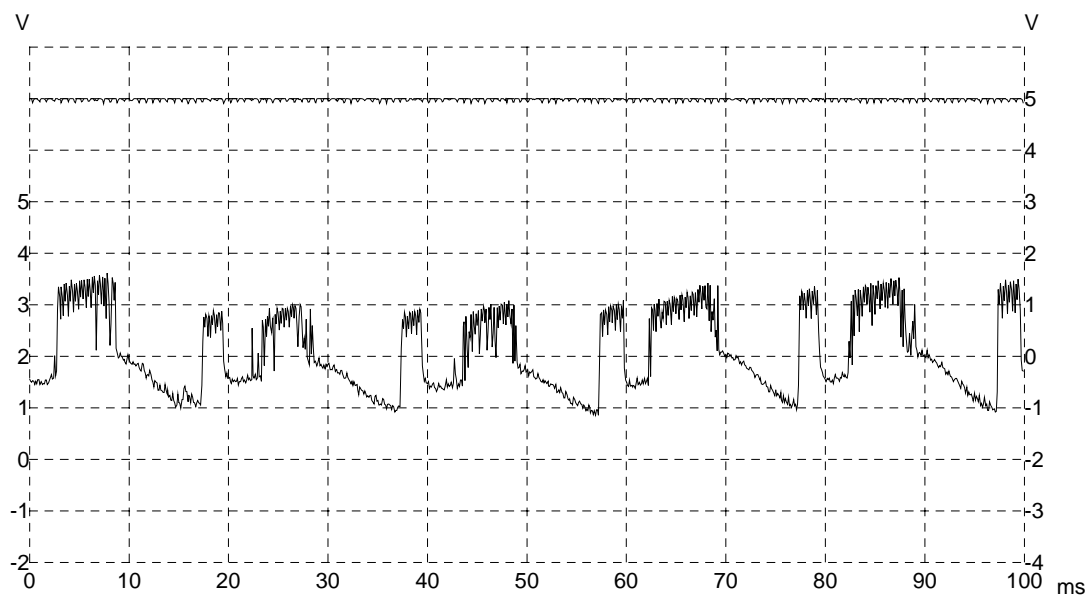
Kuva 5. Vahvistimeen LM358 menevä sinimuotoinen signaali ja siitä ulos tuleva loivareunainen kanttisisignaalisignaali



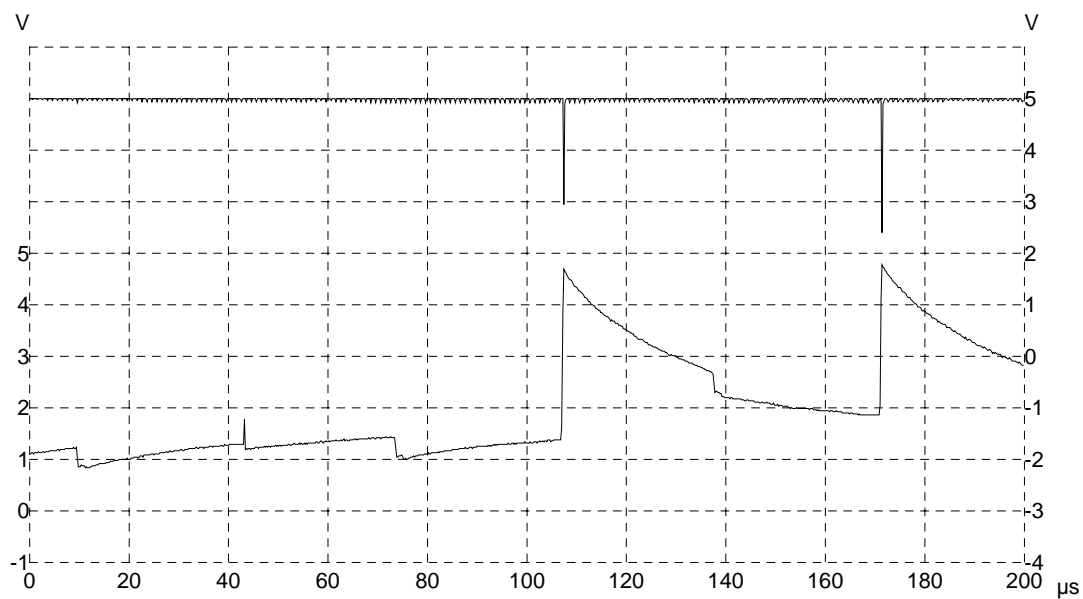
Kuva 6. Vahvistimeen LM358 menevä sinimuotoinen signaali ja siitä ulos tuleva loivareunainen kanttisisignaalisignaali



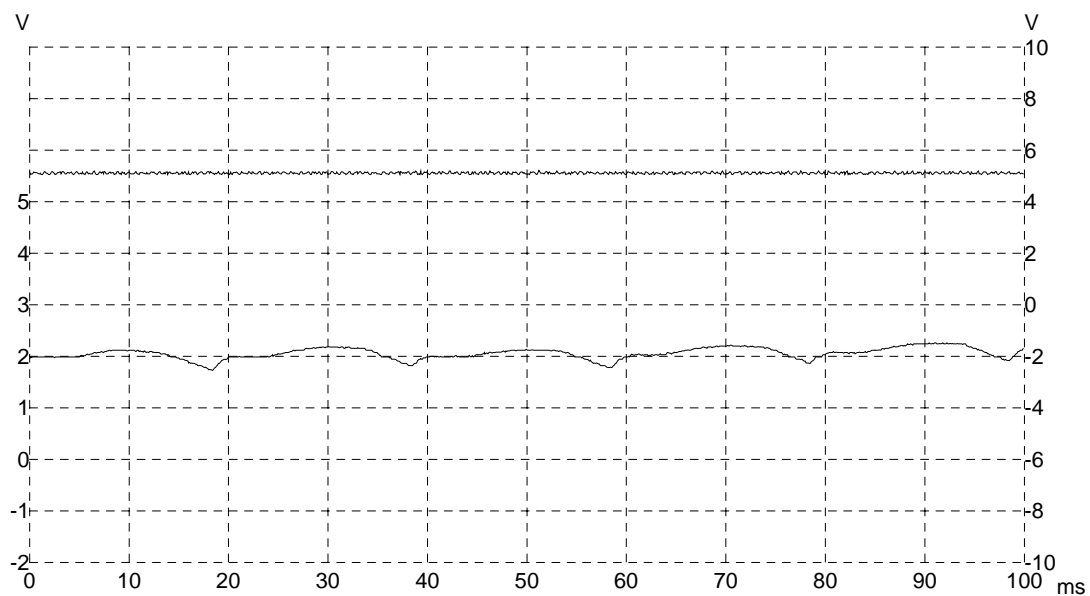
Kuva 7. Invertteriin HC14 menevä vinoreunainen signaali ja siitä ulos tuleva kanttesignaali



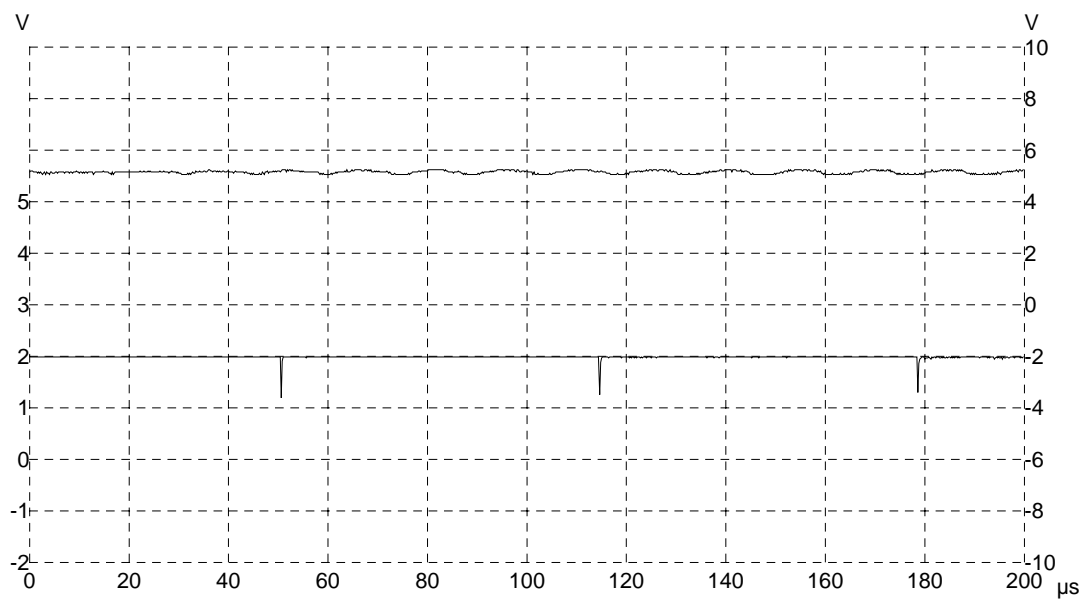
Kuva 8. Phase Pulses, ylempi kuvaaja ja Comp II Out, alempi ja vasen asteikko, alipäästösuodattimissa $1\text{ M}\Omega$ ja 10 nF



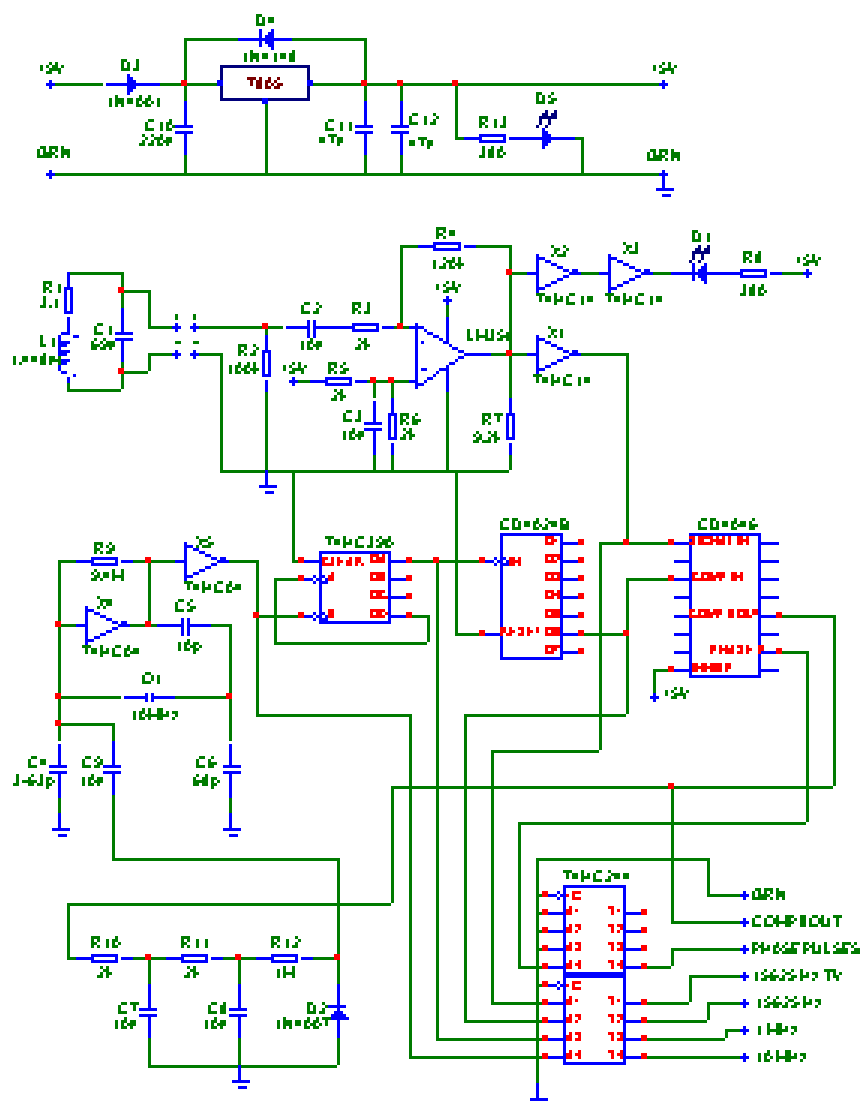
Kuva 9. Phase Pulses, ylempi kuvaaja ja Comp II Out, alempi ja vasen asteikko, alipäästösuodattimissa $1\text{ M}\Omega$ ja 10 nF



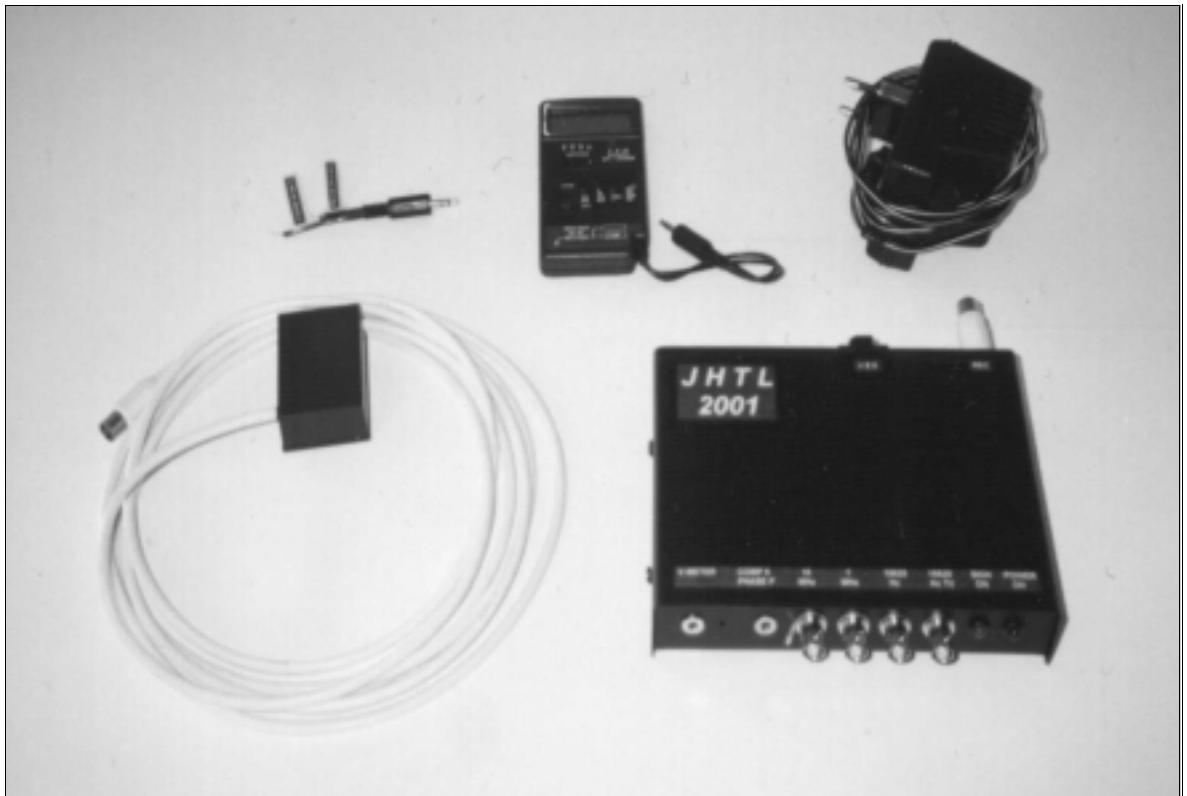
Kuva 10. Phase Pulses, ylempi kuvaaja, ja Comp II Out alempi, alempi kuvaaja, alipäästösuodattimissa $2\text{ k}\Omega$ ja 10 nF



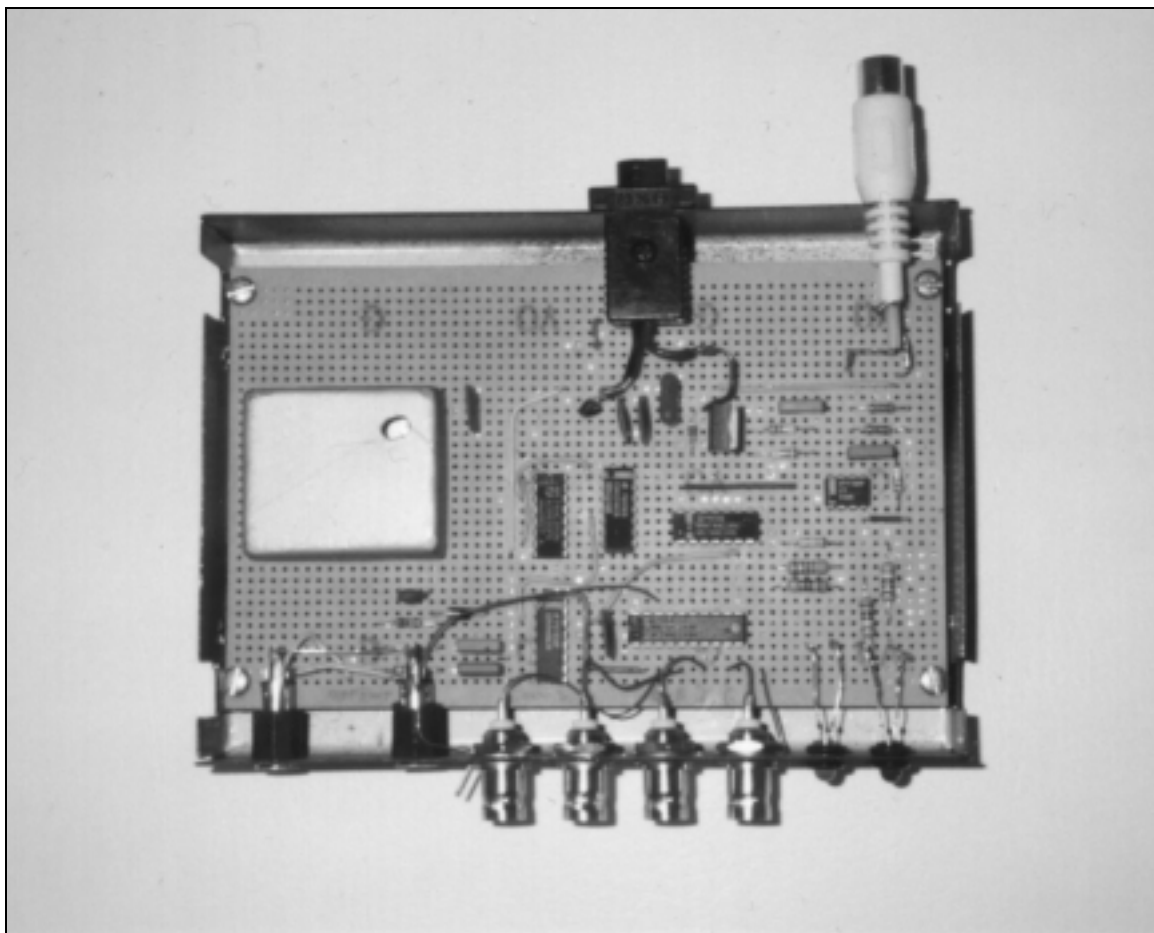
Kuva 11. Phase Pulses, ylempi kuvaaja, ja Comp II Out alempi, alempi kuvaaja, alipäästösuodattimissa $2\text{ k}\Omega$ ja 10 nF



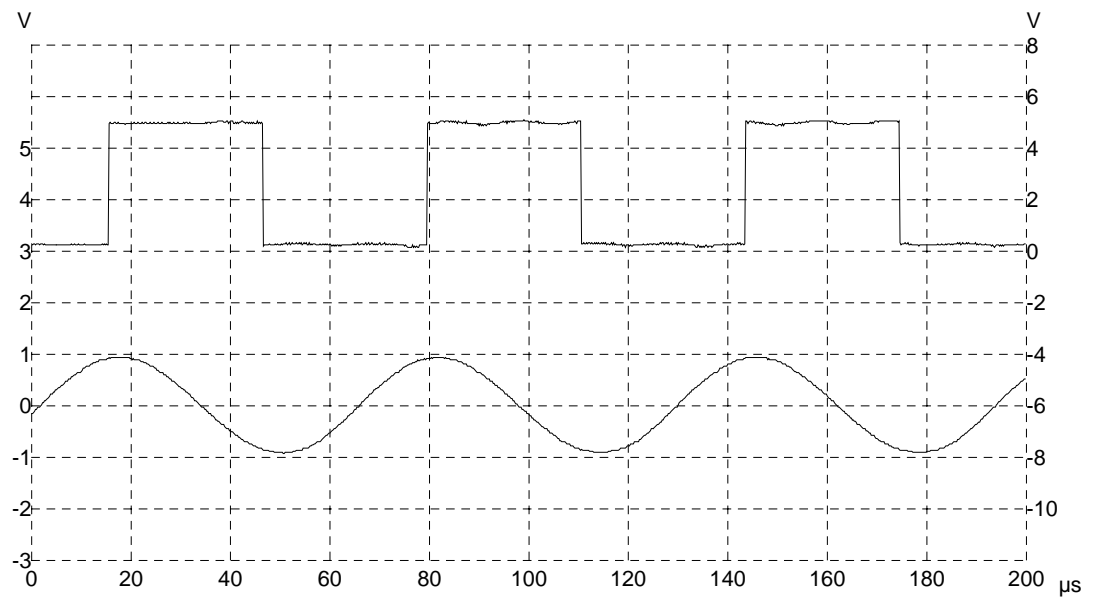
Laitteen kytkentäkaavio



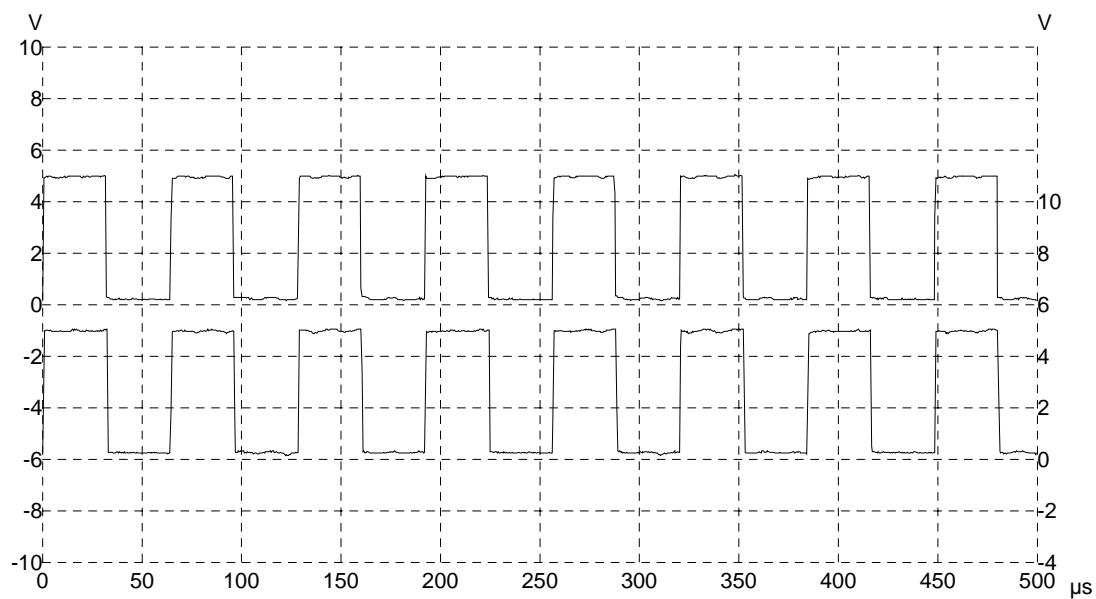
Kuva 1. Laitteisto, vastaanotin alhaalla vasemmalla, laite alhaalla oikealla, mittausadapteri ylhäällä vasemmalla, jännitemittari ylhäällä keskellä ja verkkomuuntaja ylhäällä keskellä



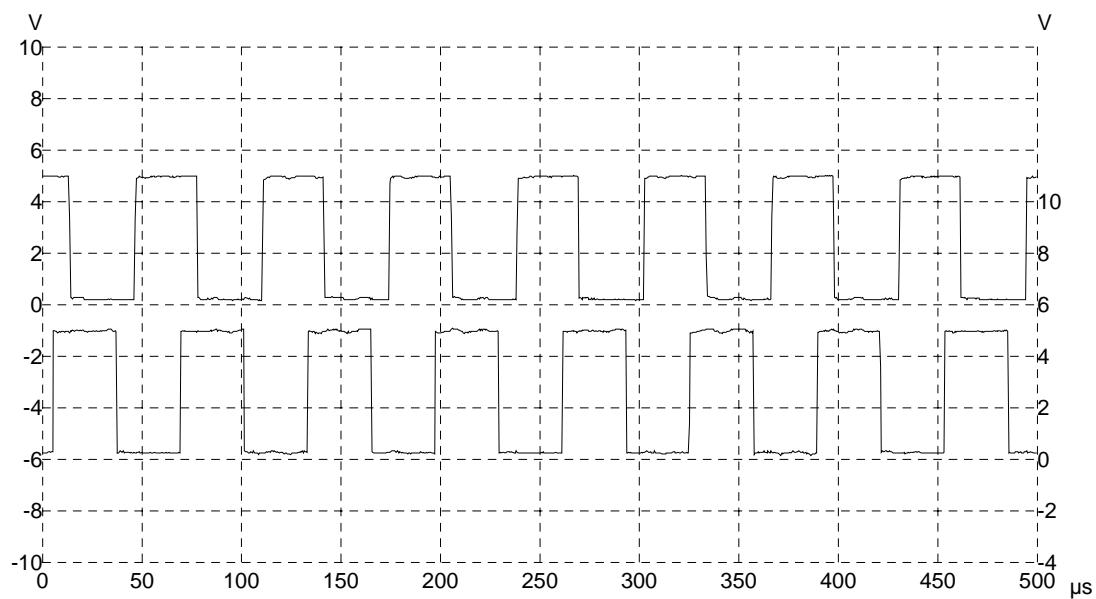
Kuva 2. Laite avattuna



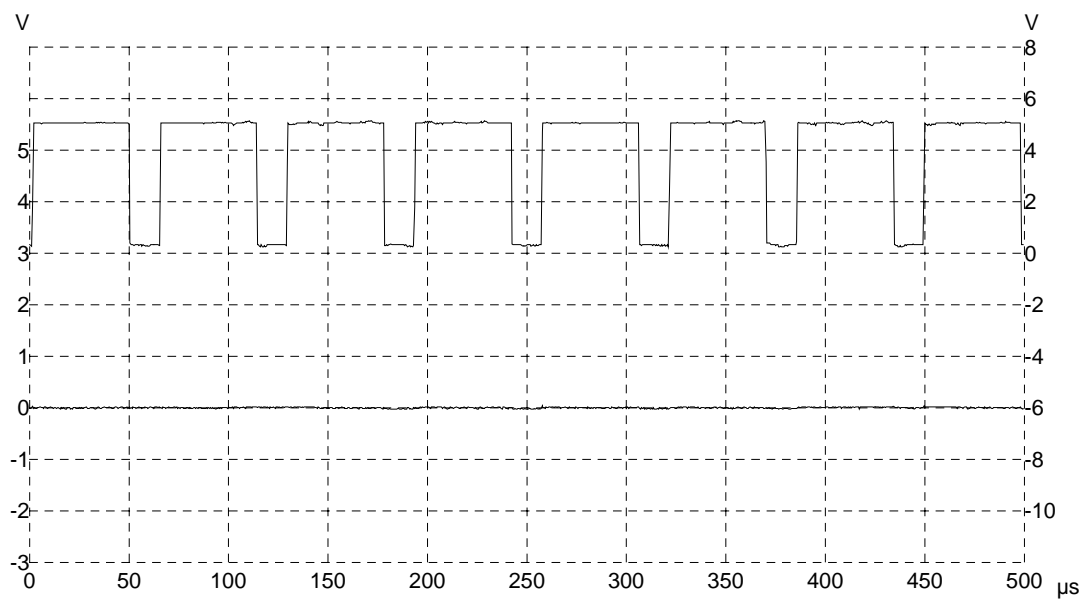
Kuva 1. Laitteeseen vastaanottimelta tuleva signaali, alempi ja laitteesta ulossaatava vastaava juovataajuinen signaali, ylempi



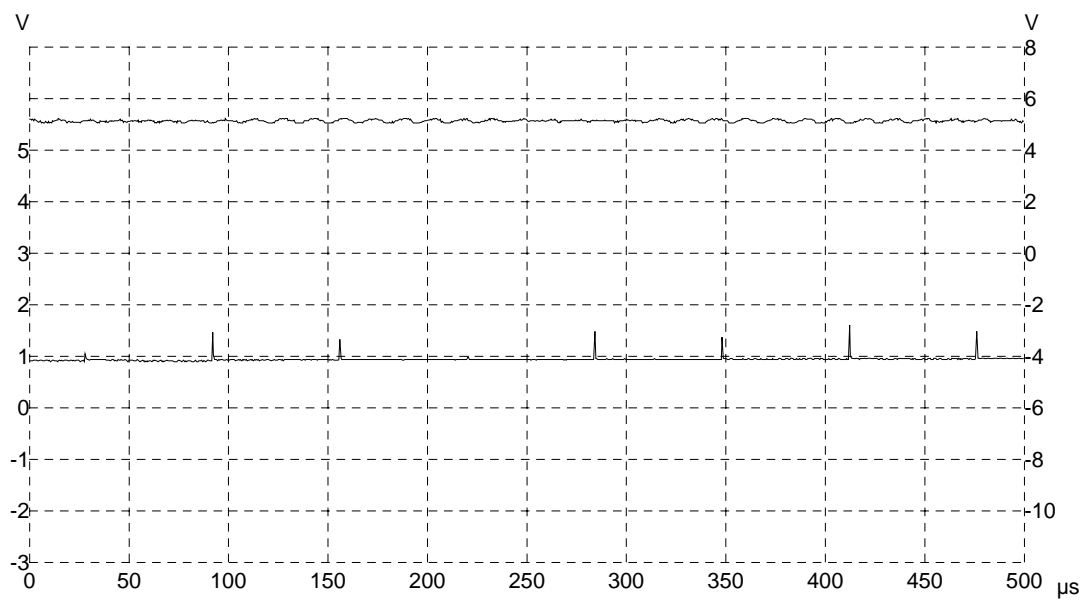
Kuva 2. Laitteen antamat 15625 Hz:n signaali, alempi, ja vertailutaajuus, ylempi, signaalit ovat lukossa



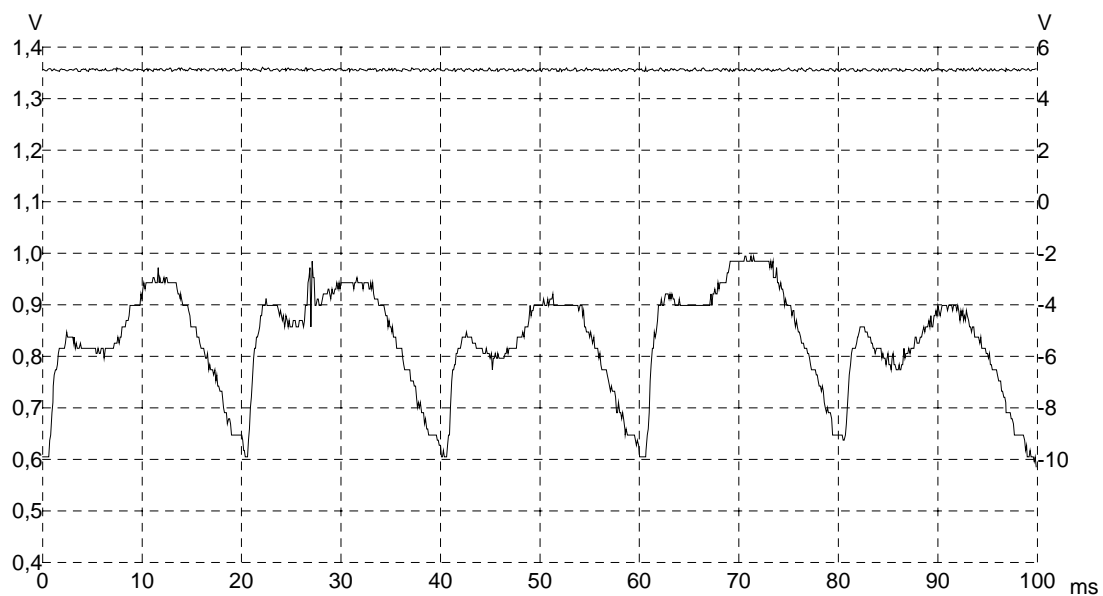
Kuva 3. Laitteen antamat 15625 Hz:n signaali, alempi, ja vertailutaajuus, ylempi, lukitus käynnissä



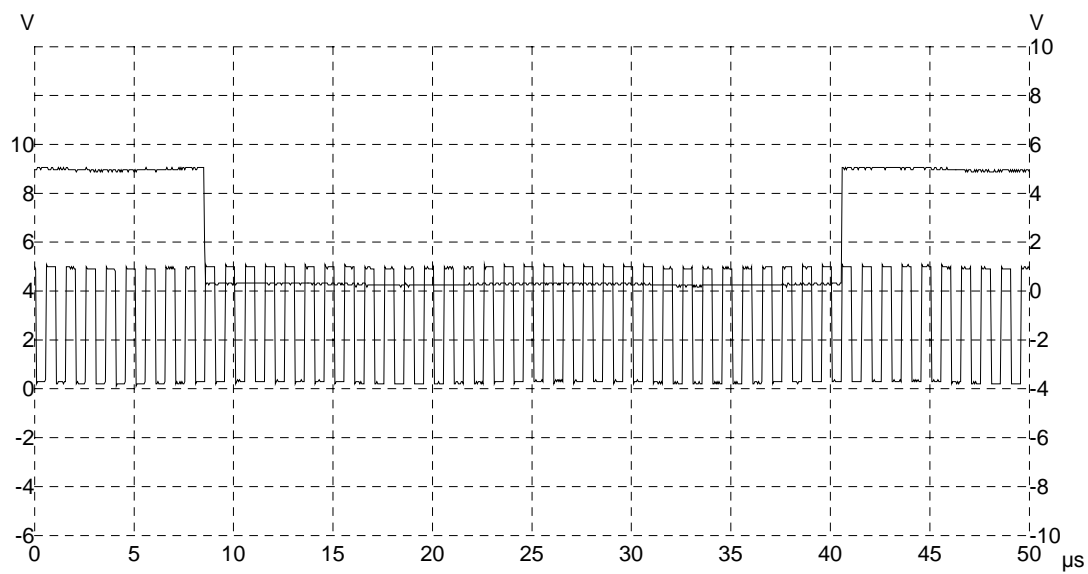
Kuva 4. Phase pulses, ylempi, Comp II Out, alempi, lukitus käynnissä



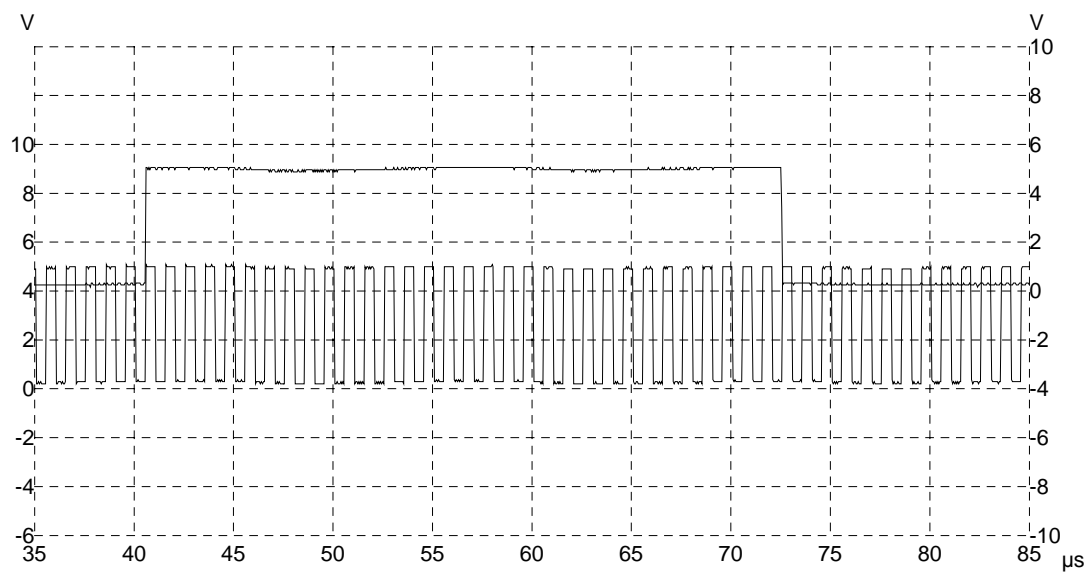
Kuva 5. Phase pulses, ylempi, Comp II Out, alempi, lukittuna



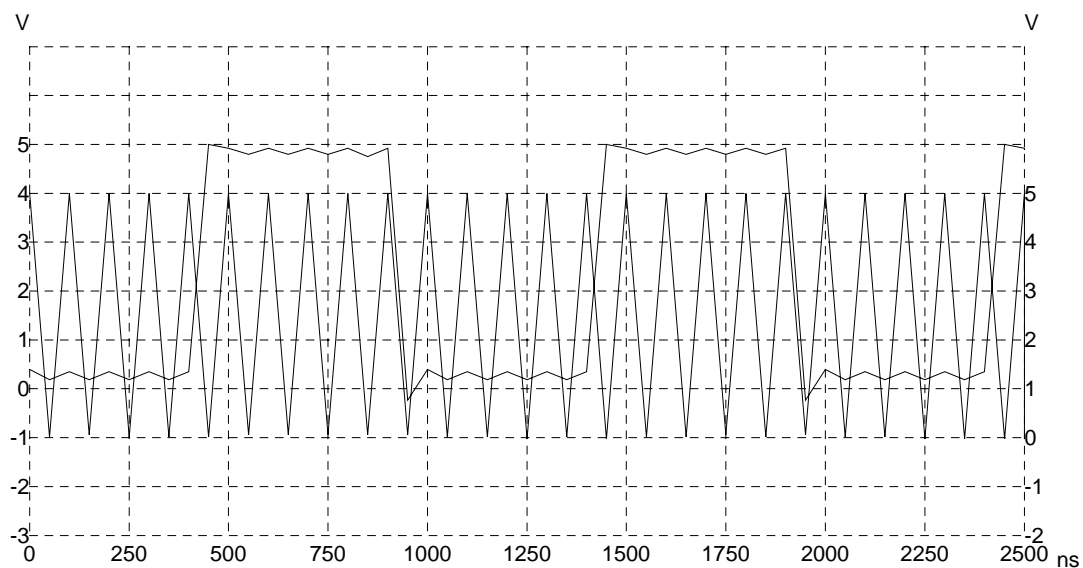
Kuva 6. Phase pulses, ylempi, Comp II Out, alempi, lukittuna



Kuva 7. 15625 Hz:n signaali, ylempi, ja 1 MHz:n signaali, alempi.



Kuva 8. 15625 Hz:n signaali, ylempi, ja 1 MHz:n signaali, alempi.



Kuva 9. 1 MHz:n signaali, ylempi, ja 10 MHz:n signaali, alempi.

JHTL 2001

Televisiovastaanottimen juovataajuuteen lukkiutuva kalibrointilaite

KÄYTTÖ- JA SÄÄTÖOHJEET



SISÄLLYSLUETTELO

LAITTEEN OSAT	3
LAITTEEN KÄYTÖN RAJOITUKSIA.....	3
LAITTEEN KÄYTTÄMINEN	4
LAITTEEN SÄÄTÖ.....	5
VIANETSINTÄ.....	6

LAITTEEN OSAT

Laite koostuu etusivulla olevan kuvan mukaisista osista:

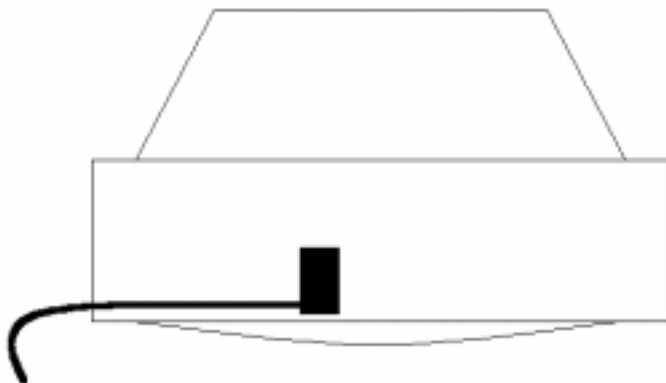
- Laite, alhaalla oikealla.
- Vastaanotin, alhaalla vasemmalla.
- Jännitelähde, ylhäällä oikealla.
- Jännitemittari, ylhäällä keskellä.
- Mittausadapteri, ylhäällä vasemmalla.

LAITTEEN KÄYTÖN RAJOITUKSIA

Laite toimii oikein ainoastaan Yleisradion kotimaisilla televisiolähetyksillä. Osa uusista televisiovastaanottimista ei sovellu käytettäväksi laitteen kanssa, koska niissä on parannettu magneettikentän suojausta.

LAITTEEN KÄYTTÄMINEN

- 1 Kytke televisiovastaanotin päälle. Valitse TV-1 tai TV-2 lähetys ja varmista, että lähetys on kotimainen.
- 2 Aseta vastaanotin televisiovastaanottimen päälle, hieman televisiovastaanottimen keskilinjaa vasemmalle puolelle, kuvan 1 mukaisesti.



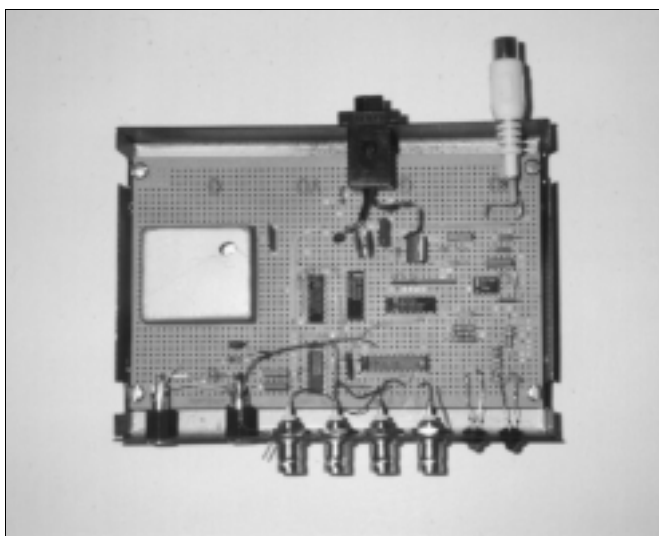
Kuva 1. Vastaanottimen asentamispaikka

- 3 Yhdistä vastaanottimen kaapeli laitteen REC-liittimeen.
- 4 Yhdistä jännitemittari laitteen V-METER –liittimeen. Kytke jännitemittari päälle valitsemalla tasavirta ja 20 V.
- 5 Yhdistä jännitelähde laitteen +9 V –liittimeen.
- 6 Varmista, että jännitelähde on säädetty +9 volttiin.
- 7 Kytke jännitelähde pistokkeeseen.
- 8 Molempien merkkivalojen tulisi syttyä ja jännitemittarin tulisi aluksi näyttää nollaa tai noin viittä volttia. 15 sekunnin kuluessa jännitemittari osoittaa lukkiutumisen tapahtuneen näyttämällä tasaista jännitettä alueella 0,5 –1,5 volttia. Signaalit ovat lukitustilanteessa saatavilla etupaneelin BNC-liittimistä.

LAITTEEN SÄÄTÖ

Jännitemittarin tulisi lukkiutumistilanteessa näyttää jännitearvoa noin 0,7 voltia. Tämä jännite saattaa vaihdella alueella 0,6 –1,0 voltia käyttöpaikan ja käytön pituuden mukaan. Mikäli jännite laskee alle 0,5:n voltin tai nousee yli 1,5:n voltin, on laite säädettävä uudelleen seuraavasti:

- 1 Irrota laitteen sivuilla olevat kiinnitysruuvit ja poista laitteen kansi.
- 2 Suorita ohjeen LAITTEEN KÄYTTÄMINEN kohdat 1 – 8.
- 3 Säädä **VAROVASTI** pienellä ruuvimeisselillä oskillaattorin suojapellissä olevan reiän kautta trimmerikondensaattorin säätöruuvista jännitemittari näyttämään noin 0,70 voltia. Oskillaattorin suojapelti reikineen näkyy kuvassa 2, vasemmassa laidassa, keskellä. **HUOM. SÄÄTÖRUUVI ON HYVIN HERKKÄ, JA PIENIKIN LIIKE NÄKY YÄNNITTEESSÄ.**



Kuva 2. Laite avattuna, oskillaattorin peltisuoja vasemmassa laidassa

- 4 Saatuasi säädön kohdalleen, katkaise virta, irrota kaikki liittimet ja asenna kansi paikoilleen. Ruuvaa kiinnitysruuvit paikoilleen. Testaa toimivuus.

VIANETSINTÄ

- 1 Mikäli punainen merkkivalo ei syty kytkettäessä virta laitteeseen:
 - Palaako muuntajan oma merkkivalo? Jos ei pala ei, ei virtaa tule muuntajalle.
 - Onko LED ehjä?

- 2 Vihreä signaalin merkkivalo ei syty:
 - Onko laitteessa virta kytkettynä?
 - Onko vastaanotin kytkettynä?
 - Onko televisiovastaanotin päällä?
 - Onko se oikealla kanavalla ja ohjelmalla?
 - Onko vastaanotin asennettu oikeaan paikkaan?
 - Onko TV uusinta mallia?

- 3 Jännitemittari näyttää vain nollaa:
 - Onko liitin paikoillaan, pyöräytä liitintä.
 - Tarkista kohdan 2 vaiheet.

- 4 Jännitemittari ei näytä mitään:
 - Onko valinnat oikein? On, vaihda paristo.

- 5 Ei toimi edellä olevien tarkistusten jälkeenkään:
 - Vie valtuutettuun JHTL-huoltoliikkeeseen tarkistettavaksi.

Liitteet F/1 – 6 PADS-kuvaajia.